

T.C
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

1202605 OTOMATİK KONTROL LABORATUVARI DENEY FÖYÜ



HAZIRLAYAN
Prof. Dr. Ömer AYDOĞDU
Arş. Gör. Ender KURNAZ

2026-KONYA

T.C
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
1202605 OTOMATİK KONTROL LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

A-LABORATUVARDA YAPILACAK DENEYLERİN LİSTESİ

1. Deney - Kontrol Sistem Elemanlarının İncelenmesi ve On/Off Kontrol Sistemleri.....	1
2. Deney - Pozisyon ve Hız Kontrol Sistemleri.....	20
3. Deney - Motor Hız ve Yön Kontrolü.....	34
4. Deney - 1-DOF Helikopter Kontrolü.....	41
5. Deney - Top ve Kiriş.....	55
6. Deney - MATLAB Deneyleri.....	73

B-LABORATUVAR KURALLARI VE DENEYLERİN YAPILIŞI

1. İki deneye gelmeyen öğrenci laboratuvarda devamsızlıktan kalır.
2. Deneye gelmeden önce her öğrenci, deney hakkında teorik bilgi edinmelidir. Yapılan ön sınavda başarısız olan veya hazırlanmadan gelen öğrenciler deneye alınmazlar.
3. Deney grupları, görevliler tarafından öğrencilerin özel durumları dikkate alınarak oluşturulur.
4. Öğrencinin Otomatik Kontrol Laboratuvarından başarılı olabilmesi için;
1-Devamsızlıktan kalmamış olması, 2-Geçebilecek not alması gerekmektedir.
5. Öğrenciler deney setlerini dikkatlice kullanıma almalı, deney setine enerji vermeden gerekli deney bağlantısını yapıp görevlilere kontrol ettirmelidir. Aksi halde deney setine verilen zarar öğrenci tarafından karşılanır.
6. MATLAB deneylerinin (6. Deney) her biri ödev olarak yapılacaktır. Öğrenciler ödevi bireysel olarak yapacaklardır. Her bir MATLAB ödevinin son teslim tarihini aşağıya yazınız.

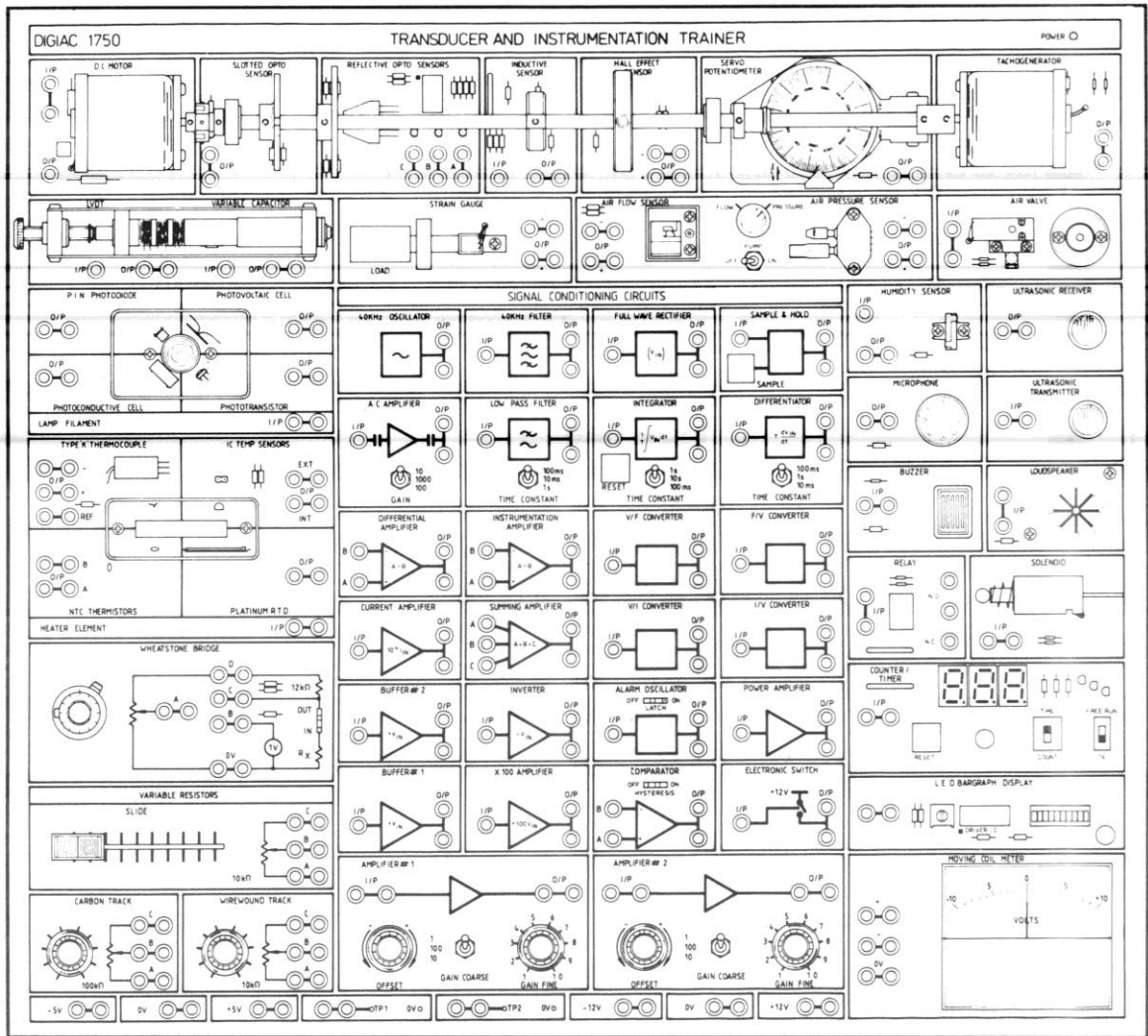
6.1. Deney –/....../20....

6.3. Deney –/....../20....

6.5. Deney–/....../20....

6.2. Deney –/....../20....

6.4. Deney –/....../20....



Otomatik Kontrol Deney Seti Ön Görünümü

DENEY NO : 1

DENEYİN ADI : **KONTROL SİSTEM ELEMANLARININ İNCELENMESİ VE ON/OFF KONTROL SİSTEMLERİ**

DENEYİN AMACI : Bu deneyde, Otomatik Kontrol Sistemlerinde kullanılan ve deney seti üzerinde bulunan kontrol elemanları hakkında temel bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. On/Off kontrol sistemlerinin incelenerek uygulanması hedeflenmiştir.

REFERANSLAR :

1. Digiac 1750 Instrumentation Training System, Manuel Vol. 2.
2. Process Control Instrumentation Technology, Johnson C., Prentice Hall International Inc.
3. Modern Control Engineering, Ogata G., Prentice Hall International Inc.

DENEY HAKKINDA TEORİK BİLGİLER

Bu deneyde ilk olarak, Şekil 1 ile gösterilen deney seti hakkında bilgi verilecektir. Deney setleri üzerindeki elemanların tanıtılması ve kullanımı görevli laboratuvar elemanı tarafından tarif edilecektir. Ayrıca bu deneyde, bundan sonraki deneylerde kullanılacak olan devir dönüştürücüleri, uç kontrol elemanları ve sinyal işleme devrelerinin karakteristikleri çıkartılacaktır.

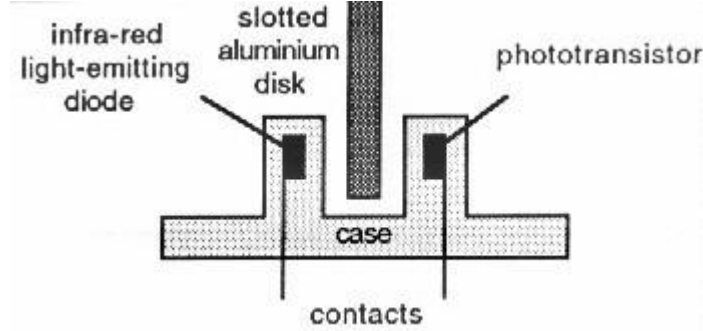


Şekil 1. Otomatik Kontrol Deney Seti

1. DEVİR DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİ VE UÇ KONTROL ELEMANLARI

1.1. Yarıklı Optik Dönüştürücüler

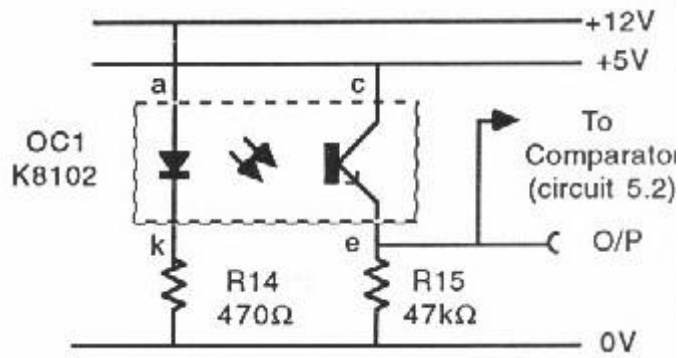
Şekil 2'de gösterildiği gibi, Galyum Arsenik İnfra-Red LED ve Silikon Fototransistör birbirlerini görececek biçimde plastik kılıf içine yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Yarıklı Hat Optik Dönüştürücü Görünüşü

Yarık arasına Alüminyum disk girdiği zaman, Led ışığı Fototransistöre ulaşmayacağından, Fototransistör kollektör akımı düşük seviyede olacaktır. Alüminyum disk üzerine yarık açılmıştır ve bir mil ile motora bağlanmıştır. Disk döndürüldüğü zaman ve yarık tam ortaya geldiği zaman fototransistör, led ışığını algılayıp ilettime geçer ve kollektör akımı artar, dolayısıyla çıkış artar. Motorun her devri için bu olay meydana gelir. Eğer diske birden fazla delik açılırsa her devir için birden fazla puls üretilir.

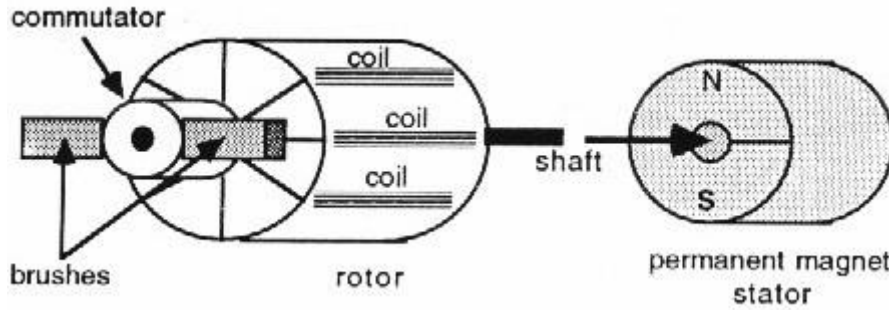
Şekil 3'te ise kullanılan yarıklı optik dönüştürücünün elektriksel şeması verilmektedir. Devrede kullanılan elemanın karakteristiği, eğer arada disk varsa çıkış 0.1 volt ve disk deliği varsa 4.9 volt değerindedir.



Şekil 3. Yarıklı Hat Optik Dönüştürücü Şeması

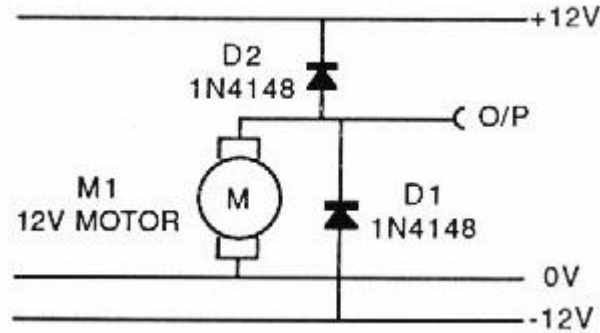
1.2. Permanent Magnet DC Takogeneratör

Şekil 4’te bir Permanent Magnet DC Takogeneratörünün temel yapısını görülmektedir. Permanent Magnet Stator içerisine, fırçalı armatür yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Permanent Magnet DC. Takogeneratörünün temel yapısı

Armatür üzerindeki oluklara yerleştirilen iletkenlerde, dönme sırasında bir AC emk. indüklenmekte ve fırçalar sayesinde DC akıma dönüştürülmektedir. İndüklenen akımın genliği, dolayısıyla çıkış geriliminin genliği armatürün dönme hızına bağlıdır. Devrenin elektriksel şeması Şekil 5’te görülmektedir. Burada diyotlar çıkış gerilimini sınırlamak için yerleştirilmiştir. Bu sistem maksimum +12V, -12V DC çıkış verebilmektedir. Genel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 5. Devrenin elektriksel şeması

Tablo 1. Permanent Magnet DC Takogeneratörünün genel özellikleri

Motor 12 V iken açık devre gerilimi	10.5 V
Motor 12 V iken kısa devre gerilimi	750 mA
Çıkış empedansı	7 ohm
Çıkış gürültüsü	200 mV p-p

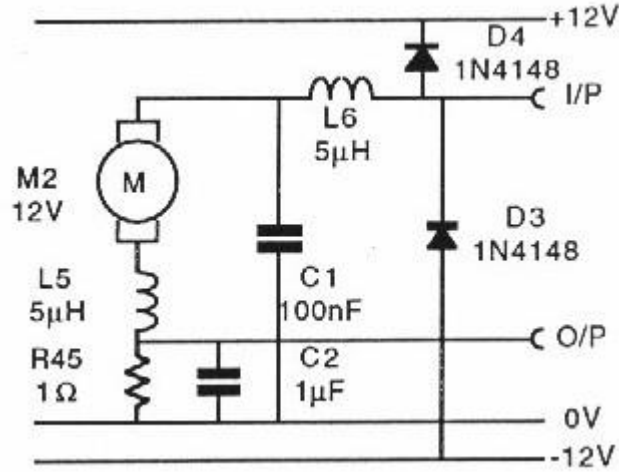
1.3. Permanent Magnet DC Motor

Permanent Magnet DC motorda, Şekil 4'te verilen DC takogenaratör ile aynı yapıda elemanlardır. Sadece stator ve armatürün bağlantı şekli farklıdır. Motorda fırçalar ile dışarıdan bir enerji alınırken, takogenaratörde ise dışarıya enerji verilmektedir. Motorun çalışması bilinen klasik doğru akım motorlarının çalışması gibidir. Şekil 6'da motorun elektriksel bağlantısı verilmektedir.

Motora uygulanan gerilimle, yüksüz durumda motor devir sayısı doğru orantılıdır. Eğer motor yüklenirse zıt emk' dan dolayı devir sayısı değişecektir. Sistemden daha fazla akım çekerek torku artıracaktır. Akım artarsa armatür dirençlerinde düşen gerilimde artacak ve hızın değişmesine neden olacaktır. Şekil 6'da gösterilen sistemdeki 1 ohm'luk direnç motor akımını direk gerilim olarak okuyabilmemiz için kullanılmıştır. Diyot ise motora uygulanabilecek maksimum gerilim değerini sınırlamak içindir. Burada maksimum 12 V uygulanabilmektedir. C1 kondansatörü ise filtre görevi yapmaktadır. Tablo 2'de motora ait karakteristikler gösterilmektedir.

Tablo 2. Permanent Magnet DC Motor genel özellikleri

D.A. Direnci	6.2 ohm
Motor akımı (Yüksüz ve 12 V uygulanırsa)	120 mA
Motor akımı (Yüklü ve 12 V uygulanırsa)	1.93 A
Motor devir sayısı (Yüksüz ve 12 V uygulanırsa)	Maksimum 2400 devir / dakika
Başlama torku	7 Ncm / A
Sabit torku	3.5 Ncm / A
Zaman sabiti	19.6 ms
Motorun verimi	Maksimum %82



Şekil 6. DC Motorun elektriksel bağlantısı

DENEYİN YAPILIŞI VE BAĞLANTI ŞEMASI:

1. İlk olarak Şekil 7'ye göre yarıklı optik dönüştürücü ve motor karakteristiğini elde edebiliriz. Bunun için 10 kohm'luk ayarlı direnci çıkış sıfır olacak şekilde ayarlayınız. Böylece motor giriş gerilimi sıfır olacaktır. Devreye enerji veriniz ve elinizle döndürmek suretiyle yarıklı optik sensör çıkışını normal disk varken ve delik varken ölçü aletlerinden birini kullanarak ölçünüz ve kaydediniz.

Normal disk halinde çıkış =Delik sensörün ortasında iken çıkış =.....

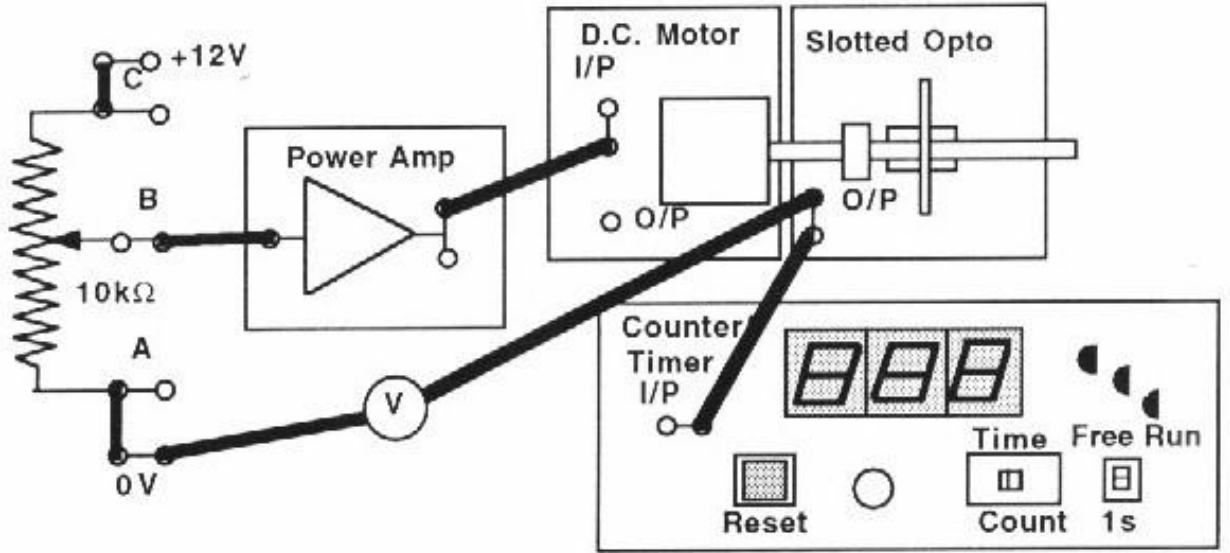
2. Ölçü aletini tekrar eski haline getirerek Şekil 7 'yi gerçekleştiriniz. Sayıcıyı count ve 1 s konumuna alınız. 10 kohm'luk potansiyometreyi değiştirmek suretiyle motor giriş gerilimini sırasıyla Tablo 3'te verilen değerlere ayarlayınız. Her değer için Digital ölçü aletinden gerilime karşılık akımı hesaplayınız ve tabloya kaydediniz. Ayrıca her defasında sayıcının reset butonuna basarak her basamakta motor devrini okuyup tabloya kaydediniz. Motor gerilimi ile devir sayısı arasındaki ilişkiyi bulunuz. Motor için bir transfer fonksiyonu yazınız.

3. Motor gerilimini 6 Volt değerine ayarlayınız ve motorun miline elinizle etki etmek suretiyle hafifçe yükleyiniz. Bu durumda motor akımını ve devir sayısına ölçerek kaydediniz. Akım artarken devir düşecektir. Akım 0.4 A olacak şekilde motoru elinizle yükleyiniz ve sayıcının reset butonuna basarak devir sayısını ölçünüz.

4. Ayarlı direncin girişine -12 V bağlayarak motorun ters yönde döndüğünü görebilirsiniz. Hangi etkiden dolayı motorun ters döndüğünü araştırınız.

Tablo 3. DC Motorun Gerilim, Akım ve Devir Karakteristiği

Motoru uygulanan gerilim (V)	2	4	6	8	10
Motor akımı (A)					
Motor devri (devir/saniye)					

**Şekil 7.** Yarıklı optik dönüştürücü ve motor karakteristiğini deney şeması

5. Takogenaratör için Şekil 7'deki devrede motorun akımını ölçen digital ölçü aletini çıkartarak takogenaratörün çıkışına bağlayınız.
6. Ayarlı direnci kullanarak motor devrini Tablo 4 'te verilen değerlere ayarlayınız ve her devir için motor gerilimini ve tako çıkışını kaydediniz. Burada oluşturulmuş olan motor-tako sisteminin transfer fonksiyonunu Tabloları kullanarak elde etmeye çalışınız. Motor giriş gerilimi ve tako çıkışı arasındaki ilişkiyi bulunuz.

Tablo 4. Takogenaratörü çıkış karakteristiği

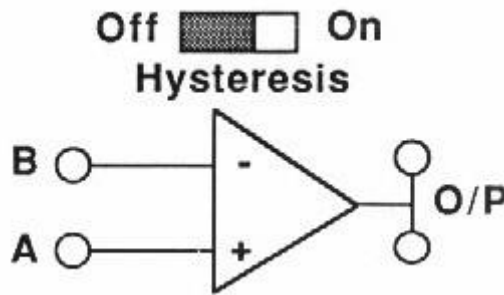
Motor devri (dev/sn)	5	10	20	30	40
Motor giriş gerilimi (V)					
Takojenaratörü çıkış gerilimi (V)					

2. SİNYAL İŞLEME DEVRELERİ

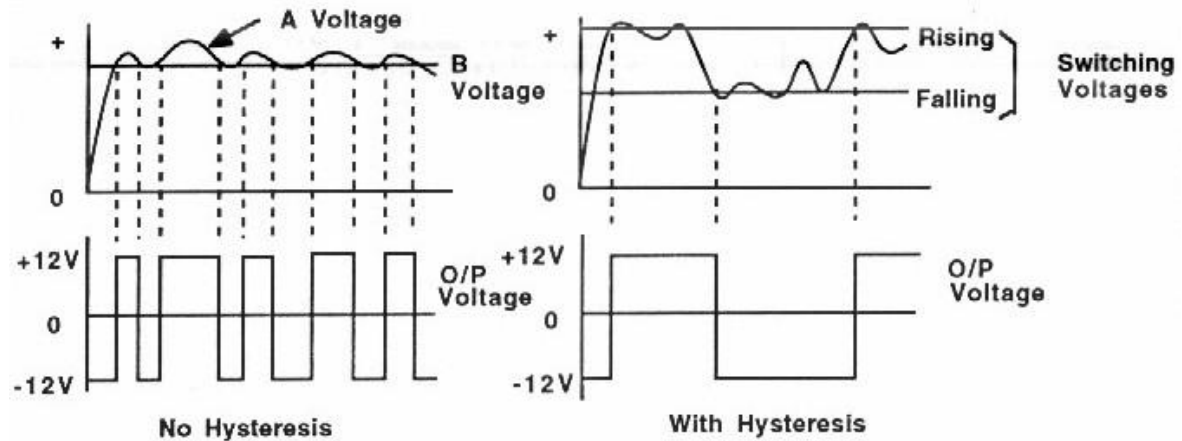
2.1. Karşılaştırıcı (Komparatör)

Şekil 8'deki sembolle gösterilen karşılaştırıcı, fark kuvvetlendiricisine benzer ise de karakteristikleri birbirinden farklıdır. Komparatörler iki girişli opamplarla gerçekleştirilen kazancı çok büyük elemanlardır. Girişlerden birine bir referans gerilim, diğerine giriş gerilimi uygulanır. Referans gerilim (+), (-) veya 0 olabilir. Giriş sinyali ise DC veya AC olabilir geriliminin iki durumu mevcuttur:

- 1) A giriş voltajı B'den daha pozitifdir. Bu durumda çıkış yaklaşık +12V'dur.
- 2) A giriş voltajı B'den daha negatiftir. Bu durumda çıkış yaklaşık -12V'dur.



Şekil 8. Karşılaştırıcı Eleman



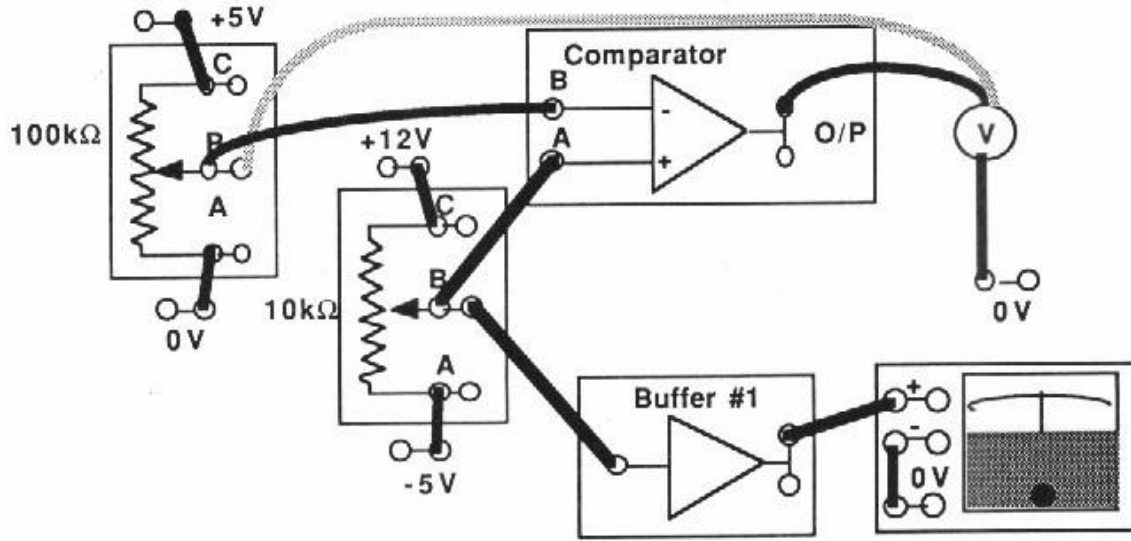
Şekil 9. Karşılaştırıcı Karakteristikleri

Eğer iki giriş birbirine çok yakın ise bunlardan herhangi birindeki hafif bir değişim, komparatör çıkışında kararsızlığa yol açabilir. Bunun önüne geçmek için Şekil 9'da gösterildiği üzere komparatörü belirli bir histerezis gerilimleri ile çalıştırılarak kararsızlığı önlenir. Şekil 9'da histerezissiz ve histerezisli çıkış gerilimlerinin değişimleri gösterilmiştir. Histerezisli durumda şekilden de görüldüğü gibi A voltaj değerinin değişim aralığı artırılmış böylece çıkışın hızlı değişimi yavaşlatılmıştır.

Komparatörlerin kullanıldığı yerler şunlardır:

- Düzensiz giriş sinyalleri karşılaştırılarak, çıkıştan buna uygun darbe elde edilmesi,
- Kare dalga osilatörlerin yapılmasında,
- Herhangi bir sinyalin karşılaştırılıp, çıkıştan 0 veya 1 değerinin elde edilmesi,
- Herhangi bir giriş sinyalinin sıfırdan kaç kere geçtiğini kontrol etmek için.

DENEYİN YAPILIŞI VE BAĞLANTI ŞEMASI:



Şekil 10. Deney Bağlantı Şeması

- Şekil 10'daki deney bağlantısını kurarak komparatörün histerezis anahtarını "OFF" konumuna ve her iki potu minimum duruma alınız.
- Giriş kaynağının anahtarını "ON" konumuna alınız. B giriş voltajını 0V, A girişini -5V değerine ayarlayınız. Bu durumda çıkış geriliminin -12V olduğunu gözleyiniz. 10 kΩ 'luk potu saat yönünde çevirerek A giriş gerilimini daha pozitif yapınız. Bu durumda çıkış gerilimi -12V'dan +12V'a kadar değişecektir. Bu değişim 0V civarında oluşacaktır. Bu durumda komparatör çıkış gerilimini not ediniz.

3. Şimdi A giriş gerilimini azaltırken bu anahtarlama geriliminde A anahtarlama gerilimini ve komparatör çıkış gerilimini kaydediniz. Bu işlemi yaparken A gerilim değerinin yükselirken komparatör çıkışının değiştiği gerilim değerini ve bunun tersi olarak da A gerilim değerini bu kez ters yönde düşürdüğünüzde komparatör çıkışının değiştiği A giriş gerilim değerini Tablo 4'e kaydediniz.

Tablo 4. Komparatör Geçiş Gerilimleri

	Voltaj Artarken	A Anahtarlama Voltajı =
B=0		Komparatör Çıkış Voltajı =
	Voltaj Azalırken	A Anahtarlama Voltajı =
		Komparatör Çıkış Voltajı =

4. Üçüncü şıkta yapılanları B= + 4 volt iken tekrarlayarak Tablo 5'a kaydediniz.

Tablo 5. Komparatör Geçiş Gerilimleri

B=+4	Voltaj Artarken	A Anahtarlama Voltajı =
	Voltaj Azalırken	A Anahtarlama Voltajı =

5. Şimdi histerezis anahtarını “ON” konumuna alarak B girişinin 0V ve +4 Volta ayarlandığı durumlarda istenen değerleri Tablo 6'ya kaydediniz.

Tablo 6. Komparatör Geçiş Gerilimleri

B=0 V	Voltaj Artarken	A Anahtarlama Voltajı=
	Voltaj Azalırken	A Anahtarlama Voltajı=
B=+4 V	Voltaj Artarken	A Anahtarlama Voltajı=
	Voltaj Azalırken	A Anahtarlama Voltajı=

6. Ölçtüğünüz histerezis voltajı nedir?

2.2. İntegral Eleman (İntegratör-I)

İntegral elemanı kontrol sistemlerinde, bilhassa kapalı regülasyon sistemlerinde kararlılığı sağlayan önemli bir elemandır. Çıkış girişin integrasyonudur. İntegral elemanın özellikleri kısaca şöyledir:

1. İntegral elemanın girişinde sinyal varsa çıkışı sürekli olarak değişir. Giriş sabitse çıkış lineer olarak değişir.
2. Çıkış sinyalinin hızındaki değişim giriş sinyalinin değeri ile orantılıdır.
3. İntegral elemanın zaman sabiti, çıkış sinyalinin giriş sinyali seviyesine ulaştığı ana kadar geçen süredir. Zaman sabiti ne kadar büyük olursa, çıkış sinyalinin değişimi de o kadar yavaş olur.
4. Giriş sinyali sıfır olduğunda çıkış sinyali o ana kadar ulaştığı seviyede sabit kalır.

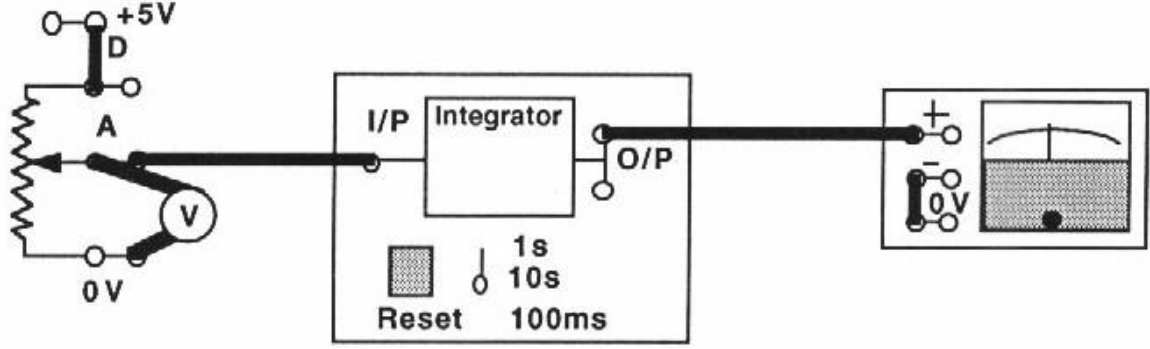
Deneyde kullanılan İntegratöre ait temel karakteristikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 7. İntegratör temel karakteristikleri

Zaman Sabiti	100ms, 1s ve 10s
Giriş Empedansı	100k
Çıkış Saturasyon Voltajı	11 V
Kazanç Hatası	%1

DENEYİN YAPILIŞI VE BAĞLANTI ŞEMASI

1. Şekil 11'deki deney bağlantı şemasını kurarak zaman sabitini "1s" konumuna alınız.
2. Güç kaynağının anahtarını "ON" konumuna alarak İntegratörün giriş voltajını 1V'a ayarlayarak "Reset" butonuna basınız. Bu işlem, çıkışı 0V'a ayarlar. Şimdi "Reset" butonuna basıp çekerek çıkış voltaj değerinin 12 saniye sonra maksimum değere ulaştığını gözleyerek bu değeri not ediniz. Maks. Çıkış gerilimi =
3. "Reset" butonuna basınız ve çıkış voltajı 5V'a yaklaştığı zaman giriş voltajını sıfırlayınız. Çıkış voltajı ne oldu? (Voltajın bu değerde sabit kalması lazım)
4. Giriş voltajını değiştirerek çıkış değişik değerler alacak şekilde yukarıdakileri tekrarlayınız.



Şekil 11. Deney Şeması

5. "Reset" butonuna basınız, Çıkışın 10V olduğu durumda geçen zamanı kaydediniz. Bu değer devrenin zaman sabitini hesaplamanızda kullanılacaktır. Giriş 1V iken çıkış 1V'a ulaştığı zamana kadar geçen süre 1 zaman sabitini, çıkışın 10 V olduğu zaman geçen süre 10 zaman sabitini verecektir.

Giriş 1V iken;

Çıkış voltajı 10 V iken geçen süre =

Zaman sabiti (1s konumunda iken) =

6. Zaman sabiti konumunu 10s'ye getirerek işlemleri tekrarlayınız.

Giriş 0.1V iken;

Çıkış voltajı 1V iken geçen süre =

Zaman sabiti (10s konumunda iken) =

7. Zaman sabiti konumunu 100ms'ye getirerek işlemleri tekrarlayınız.

Giriş 0. 1V iken;

Çıkış voltajı 10 V iken geçen süre =

Zaman sabiti (100ms konumunda iken) =

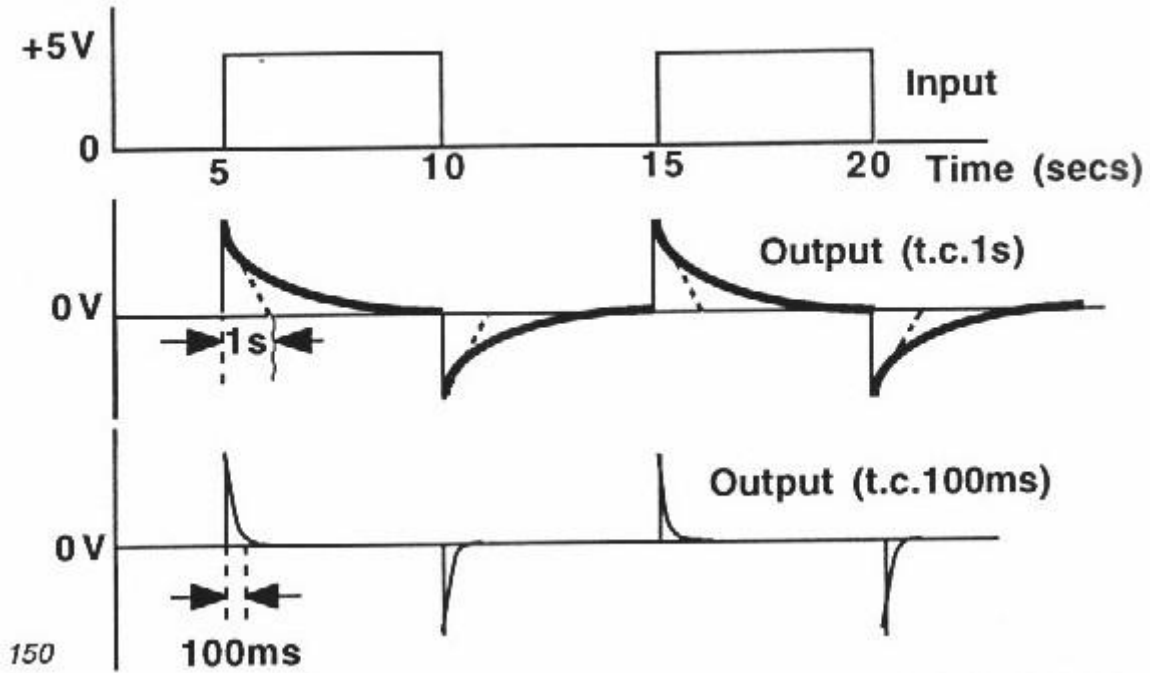
2.3. Türev Elemanı (Diferansiyel-D):

Türev eleman aynen integral eleman gibi kontrol sistemlerinde bilhassa kapalı regülasyon sistemlerinde kararlılığı sağlayan önemli bir elemandır. Çıkış girişin türevidir. Türev elemanın özellikleri kısaca böyledir:

1. Giriş, sabitse çıkış sıfırdır.
2. Çıkış sinyalinin seviyesi, giriş sinyalinin değişim hızı ile orantılıdır.

3. Türev elemanın zaman sabiti, giriş sinyalinin çıkış sinyali seviyesine ulaştığı ana kadar geçen süredir. Bu özelliğinden dolayı türev elemanlar (diferansiyel elemanlar), otomatik kontrol sistemlerindeki gecikmeleri kompanze etmek için kullanılır.

4. Giriş sinyalinin hızı ile diferansiyel elemanın zaman sabitinin çarpımı, diferansiyel elemanın çıkış sinyalinin seviyesini belirler. Şekil 12'de belirli bir giriş sinyali için zaman sabiti “1s” ve “100ms” için çıkış dalga şekilleri görülmektedir.

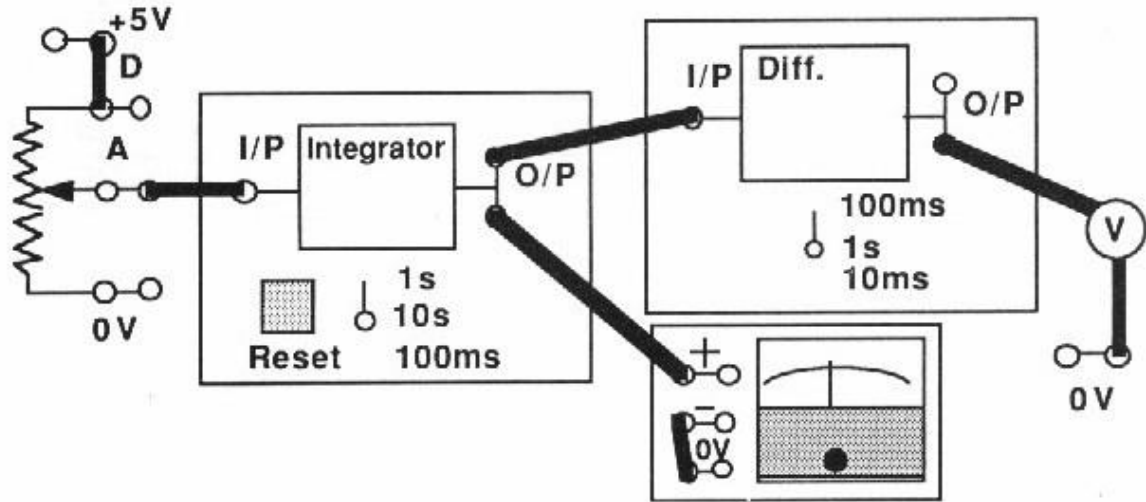


Şekil 12. Türev Eleman Karakteristikleri

Deneyde kullanılan diferansiyel elemanlara ait temel karakteristikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 8. Diferansiyel elemanlara ait temel karakteristikler

Giriş Voltajı	12v Max.
Giriş Voltajının Değişim Hızı (Zaman sabiti =10 ms için)	10v/ms Max.
Çıkış Saturasyon Voltajı	11v
Çıkış Gürültüsü (Zaman sabiti = 1s için)	50 mV

DENEYİN YAPILIŞI VE BAĞLANTI ŞEMASI**Şekil 13. Deney Bağlantı Şeması**

1. Şekil 13'teki bağlantı şemasını kurarak. İntegratör ve diferansiyel elemanın zaman sabitini "1s" konumuna alınız. M.C. meter kullanarak sadece integratördeki voltaj değişimini gözleyiniz.
2. Güç kaynağının anahtarını "ON" konumuna alınız. İntegratörün giriş gerilimini 1V'a ayarlayarak integratörün "Reset" butonuna basınız. Diferansiyel elemanın gerilim değişimini not ediniz.
3. İntegratör çıkışı saniyede 1V değişecektir. (1V/s) 11 sn sürecek olan bu değişim esnasında diferansiyel elemanın çıkışı 1V olmalıdır.

Zaman sabiti 1 sn iken;

Giriş voltajındaki değişim hızı = 1V/s

Çıkış voltajı =

İntegratör maksimum değere ulaşp sabit bir değerde kaldığında diferansiyel elemanın çıkışı sıfıra düşer.

4. Diferansiyel elemanın zaman sabitini 100ms'ye ayarlayarak integratörün "Reset" butonuna basıp çektikten sonra diferansiyel çıkış voltajını izleyerek yukarıdaki prosedürü tekrarlayınız.

Zaman sabitini 100ms'de iken;

Giriş voltajındaki değişim hızı = 1V/s

Çıkış voltajı =

5. Aynı işlemleri Diff. zaman sabiti “10ms” iken tekrarlayınız.

Zaman sabiti 10ms'de iken.

Giriş voltajındaki değişim hızı = 1V/s

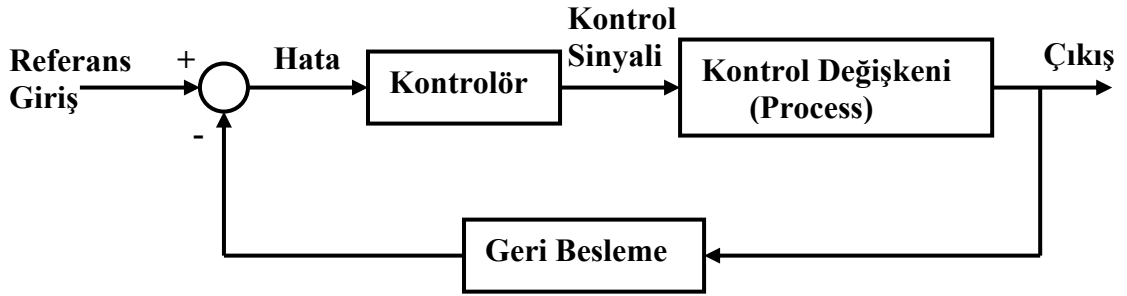
Çıkış voltajı =

Çıkış voltajı bu ayarlama için 10mV seviyesine düşecektir.

3. ON/OFF KONTROL SİSTEMLERİ

3.1. Temel Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi

Şekil 14'te temel bir kapalı çevrim kontrol sistemi görülmektedir. Kontrol edilen değişkenin gerçek değeri ile istenen (referans) değeri arasındaki fark hata olarak algılanır ve bu işaret, denetleyicinin (kontrolör) girişine uygulanır. Kontrolörün hatayı azaltmak veya ideal olarak hatayı sıfırlamak için ürettiği kontrol işareti (actuating signal), kontrol edilen değişkenin büyüklüğünü değiştirmek üzere girişine uygulanır.



Şekil 14. Temel Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi

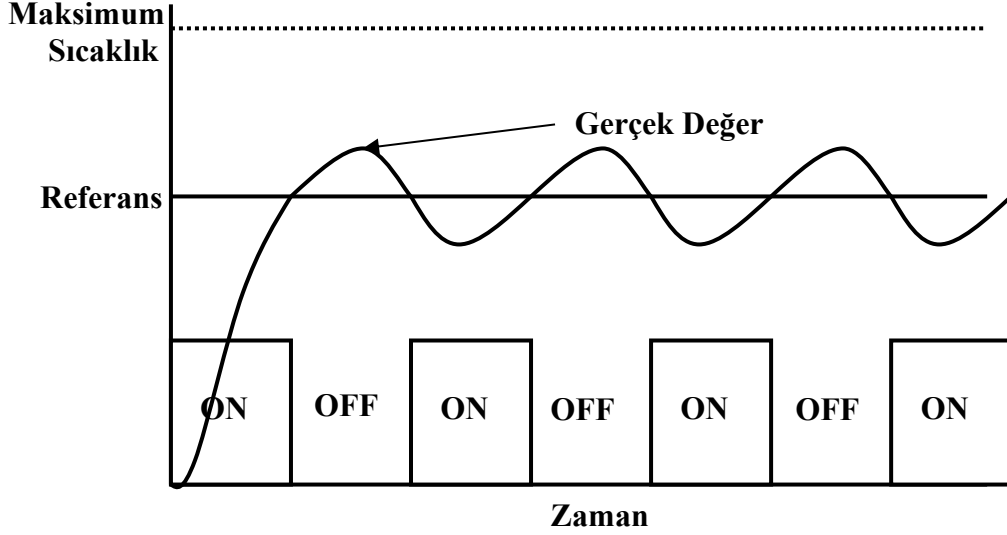
Şekil 14'te gösterilen geri besleme elemanı kaldırıldığında zaman sistem **açık çevrim kontrol sistemi** olarak adlandırılır. Böyle bir sistemde hata denetlenemez.

3.2. Bir On/Off Kontrol Sisteminin Karakteristiği

On/Off kontrol sistemlerinde denetleyici veya kontrolör eleman sadece iki çıkış durumuna sahiptir. Bunlar;

1. Kontrol edilen değişkenin değeri, istenen referans değerden daha küçüktür ve bu nedenle kontrolör çıkışı maksimumdur (ON-Açık durumu).
2. Kontrol edilen değişkenin değeri, istenen referans değerden daha büyüktür ve bu nedenle kontrolör çıkışı sıfırdır (OFF-Kapalı durumu).

Bu kontrol metodu, herhangi bir sıcaklık sensörü kullanılarak bir odanın sıcaklığının kontrol edilmesi gibi, uzun zaman sabitine sahip sistemler için daha uygundur. Böyle bir sistemin, On/Off kontrol yöntemi ile elde edilen muhtemel çalışma karakteristiği Şekil 15'teki gibi olmaktadır.



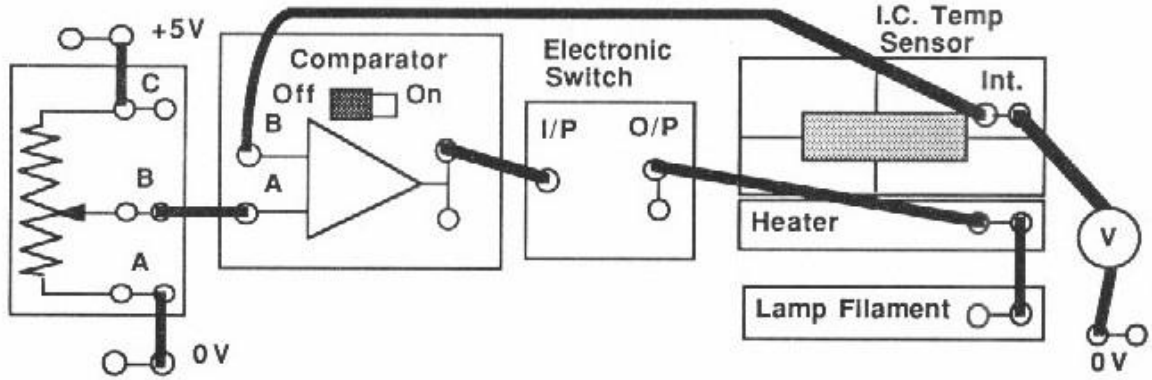
Şekil 15. ON/OFF Kontrol Sistemi Çalışma Karakteristiği

Şekil 15'ten de görüldüğü gibi başlangıçta ısıtıcı ON konumunda olacaktır ve sıcaklık ortam değerinden itibaren eksponansiyel bir eğri şeklinde artış gösterecektir. Sıcaklık istenen değere ulaştığı zaman, ısıtıcı OFF konumuna anahtarlacaktır.

Bundan itibaren, sıcaklık bir süre daha yükselmeye devam edecek fakat daha sonra zamanla artan oranda düşmeye başlayacaktır. Sıcaklık istenen değer altına düştüğü süre ısıtıcı tekrar ON konumuna anahtarlacaktır, fakat ısıtıcı etkili olana kadar kısa bir zaman daha azalmaya devam edecektir. Sistemde bir ölü bölge oluşacaktır.

Şekil 15'ten de görüldüğü gibi, sıcaklığın iki limit değeri arasında sürekli değişmesi ile sürekli bir kontrol işlemi sağlanmaktadır.

Burada benzer bir uygulama olarak, bir ON/OFF ışık kontrol sistemi incelenecektir. Daha çok böyle bir sistem otomatik olarak sokak lambalarının aydınlatma sistemlerinde kullanılmaktadır. Benzer şekilde, verilen referans ışık seviyesine göre, sistem kontrol edilmektedir.

DENEYİN YAPILIŞI VE RAPORDA İSTENENLER**A. ON/OFF SICAKLIK KONTROL SİSTEMİ****Şekil 16.**Sıcaklık kontrol sistemi deney bağlantı şeması

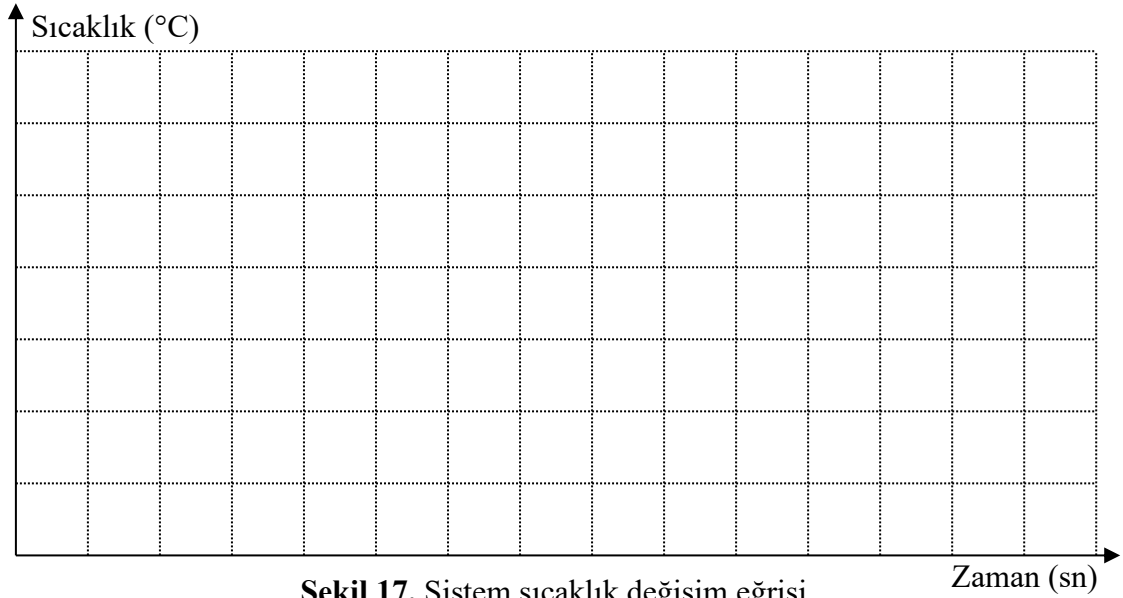
1. Şekil 16'da verilen bağlantı şemasına göre devreyi kurunuz.
2. Komparatörün histerezis anahtarını OFF konumuna alınız ve 10 k Ω 'luk ayarlı direncin kontrol düğmesini saat yönünün tersinde sonuna kadar çevirerek referans geriliminizi başlangıçta sıfırlayınız.
3. Güç kaynağının anahtarını ON konumuna alarak sisteme enerji veriniz. IC sıcaklık sensörünün çıkışını okuyarak kaydediniz. Daha sonra 10 k Ω 'luk direncin çıkışına yani referans gerilimine bir voltmetre bağlayınız. Referans gerilimini, IC sıcaklık sensöründen okunan gerilim değerinin 0.2 volt üzerinde olacak şekilde 10 k Ω 'luk direnç ile ayarlayınız. Bu işlem sistem sıcaklığını (istenen-referans sıcaklık) ortam (ısıtıcının başlangıç) sıcaklığının 20 °C üzerine ayarlar. Yani bu anda; IC sensör çıkış gerilimi =volt ve bu da°C'dir. İstenen (referans) gerilimi =volt ve sistem sıcaklığı =°C'dir.
4. Daha sonra 30 sn. veya 1 dk. zaman aralıkları ile ısıtıcının konumunu (ON veya OFF) ve IC. sıcaklık sensörünün çıkış gerilimini, bu gerilimi kullanarak hesaplayacağınız sıcaklık değerlerini aşağıda verilen tabloya kaydediniz. Isıtıcının ON veya OFF durumunu, ısıtıcıya paralel bağlanan lamba ile belirleyebilirsiniz.

Tablo 9. Ölçülen deney sonuçları

Zaman (sn)											
Isıtıcı On/Off											
IC çıkışı (v)											
Sıcaklık (°C)											

Devamı

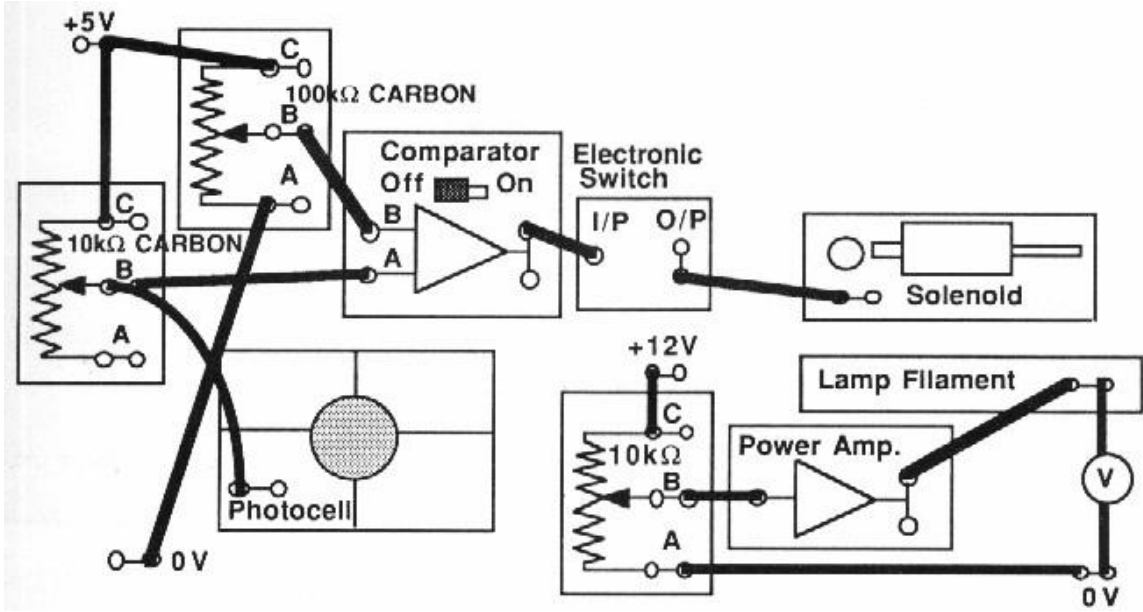
5. Hesaplayarak Tablo 9'a kaydettiğiniz sıcaklık değerlerinden faydalanarak, sistem sıcaklığının zamana göre değişimini veren eğriyi Şekil 17'ye ölçekli olarak çiziniz.

**Şekil 17.** Sistem sıcaklık değişim eğrisi

6. Almış olduğunuz sıcaklık değerlerinden faydalanarak “sıcaklığın referans değerden sapma miktarını” ve “ortalama sıcaklık değerini” hesaplayınız.

B. ON/OFF IŞIK KONTROL SİSTEMİ

1. Şekil 18'de verilen bağlantı şemasına göre devreyi kurunuz.
2. Komparatörü OFF konumuna getiriniz ve ayarlı direnç kontrollerini tamamen saat yönünün tersine (sola) çeviriniz.

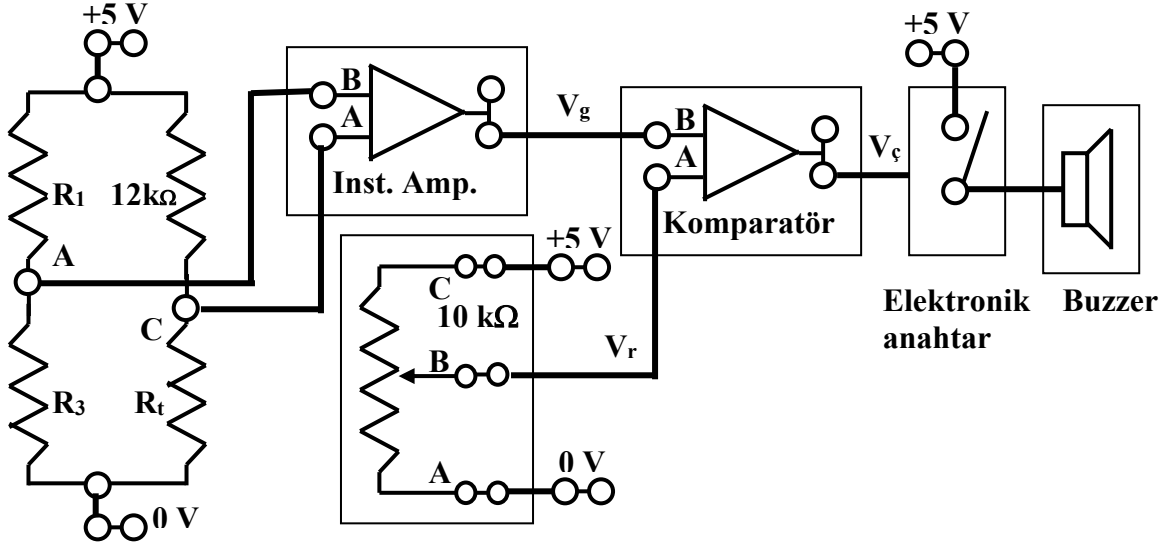


Şekil 18. Işık kontrol sistemi deney bağlantı şeması

3. Güç kaynağı anahtarını ON konumuna alarak sisteme enerji veriniz. Enerji verilen selenoid valfin enerjisi kesilecek (hemen hemen enerjisiz kalacak) biçimde 100kΩ'luk direnci ayarlayınız ve direnç çıkışındaki gerilimi kaydediniz. $V = \dots\dots\dots$ volt. Bu işlemler, ortamın ışık seviyesinde sistemin çalışabilmesi için gerekli ayar gerilimini gösterir.
4. Bu durumda iken fotoselin üzerinde elinizi hareket ettirin. Sistemin ışık seviyesi düştüğü için selenoidin durum değiştirdiğini gözleyeceksiniz. Komparatör devresinde histeresizin olmayışı (OFF durumunda olması) nedeniyle ışık seviyesindeki az bir düşüş selenoidin konum değiştirmesine neden olur. Histeresizin girişi, selenoidin durum değiştirmesi için gerekli ışık seviyesi değişimini artırmaktadır. Bu nedenle histeresiz, bu uygulama için tutucu (latch) gibi çalıştığından OFF konumuna alınmıştır.
5. Lambanın direncine uygulanan gerilimi 10 volta ayarlayınız ve selenoid durum değiştirene kadar 100 kΩ'luk direnci değiştiriniz. Bu anda 100 kΩ'luk direncin çıkışındaki gerilimi kaydediniz. $V = \dots\dots\dots$ volt. Bu, maksimum ışık seviyesi ile devrenin çalışması için ayar edilen gerilimi göstermektedir.
6. Lambaya uyguladığınız gerilimi 2 volta ayarlayınız ve ortamın ışık seviyesini yok etmek için ışık sensörlü hücrenin üzerini elinizle kapatınız. Bu durumda selenoidin durum değiştirmesi için gerekli işlemleri yaparak ayar gerilimlerini kaydediniz. $V = \dots\dots\dots$ volt.

C. YANGIN GÜVENLİK SİSTEMİ DEVRESİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

1. Şekil 19’da bir NTC sıcaklık sensörü kullanılarak tasarlanmış bir yangın alarm devresi görülmektedir. Deney setindeki uygun elemanları kullanarak verilen devreyi kurunuz.



Şekil 19. Yangın alarm sistemi

- Referans V_r gerilimini başlangıçta sıfıra ayarlayınız ($V_r = 0$ volt). Sisteme enerji veriniz. Daha sonra köprü üzerindeki ayarlı direnci V_g gerilimi sıfır olacak şekilde değiştiriniz (Bu durumda köprü dengeye ulaşmış olacaktır).
- Köprü dengede iken A ve C noktalarındaki gerilim değerlerini ölçerek kaydediniz. $V_A = \dots\dots\dots$ volt ve $V_B = \dots\dots\dots$ volt.
- Set üzerindeki ısıtıcıya (heater) +12 voltluk besleme kaynağına bağlayınız. 10 kΩ’luk referans direnci ile referans gerilimini sırayla $V_r = 0.05$ volta ayarlayarak sistemi çalıştırınız. Çalışma süresince V_g geriliminin değişimi ve IC sıcaklık sensörü çıkışını 30 sn. aralıklarla ölçerek Tablo 10’a kaydediniz. Alarm çalışınca $V_r = 0.1$ volta ayarlayarak yukarıdaki işlemi tekrarlayınız. Bunu $V_r = 0.15$ volt, 0.2 volt içinde tekrarlayınız.

Tablo 10. Ölçülen deney sonuçları

V_r (volt)												
V_g (volt)												
Sıcaklık (°C)												

Devamı

DENEY NO : 2

DENEYİN ADI : **POZİSYON VE HIZ KONTROL SİSTEMLERİ**

DENEYİN AMACI : Bu deneyde, herhangi bir sistemin pozisyonunu ve hızını, kapalı çevrim kontrol sistemleri kullanarak kontrol etmek ve bu amaçla P, PI, PD ve PID kontrolörler kullanarak giriş işaretine bağlı olarak çıkış karakteristiklerini incelemektir.

REFERANSLAR :

1. Digiac 1750 Instrumentation Training System, Manuel Vol. 2.
2. Process Control Instrumentation Technology, Johnson C., Prentice Hall International Inc.
3. Modern Control Engineering, Ogata G., Prentice Hall International Inc.

DENEY İÇİN HAZIRLIK SORULARI

1. P, PI, PD, PID türü denetleyicilerin transfer fonksiyonlarını, zaman ve laplace ortamlarında çıkartınız.
2. Transfer fonksiyonu $G(s) = 1/(s+1)$ şeklinde verilen bir işlemin (process) kararlılığını: a) Açık çevrim iken, b. Kapalı çevrim sisteminde, geri besleme kazancı 1 iken ve kontrol birimi için; P türü denetleyici kullanarak, PI türü denetleyici kullanarak, PID türü denetleyici kullanarak inceleyiniz ve sonuçlarını yorumlayınız.
3. Sürekli durumda çalışan bir sistemde yük küçük bir miktar değiştiği zaman P, PI ve PID türü denetleyicilerin sisteme etkisi nasıl olur açıklayınız.

DENEY HAKKINDA TEORİK BİLGİLER

1. POZİSYON KONTROL SİSTEMİ

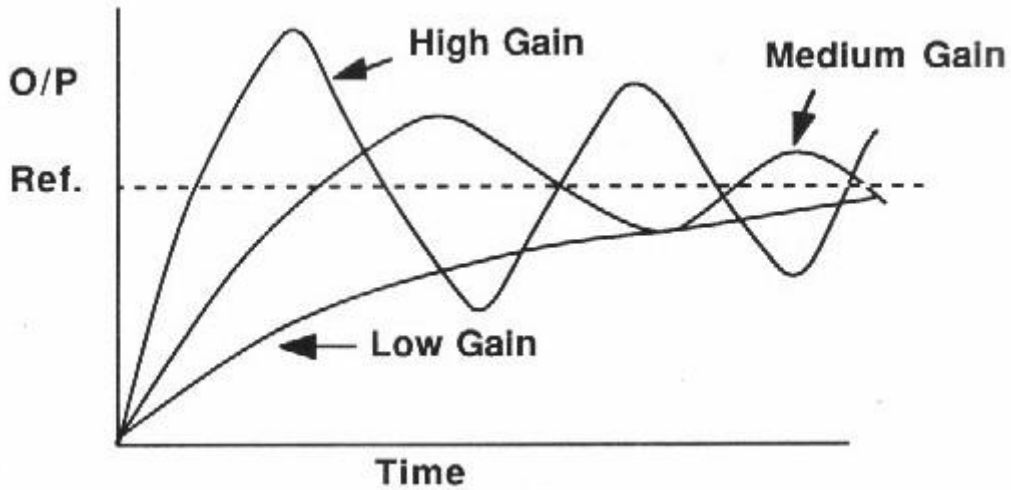
1.1. Oransal (P) Kontrol Karakteristikleri

Bu kontrol sisteminde kontrolünün çıkışı, hata sinyalinin (e) büyüklüğü ile orantılıdır. Yani; Kontrolör Çıkışı (V_c)=Oransal Kazanç (K_p) * Hata(e) olmaktadır.

Bu tip kontrol sistemlerinin karakteristiği, oransal kazanç (K_p) değerlerine bağlı olarak değişir. K_p 'nin büyük değerleri için karakteristik ON/OFF karakteristiğine benzer, küçük kazanç değerleri için ise sistem cevabı yavaşlar ve sistem hantallaşır. Şekil 1'de, birim basamak giriş fonksiyonuna karşılık oransal kontrol sistemin cevap karakteristiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi kazancın yüksek olması halinde sistem cevabı

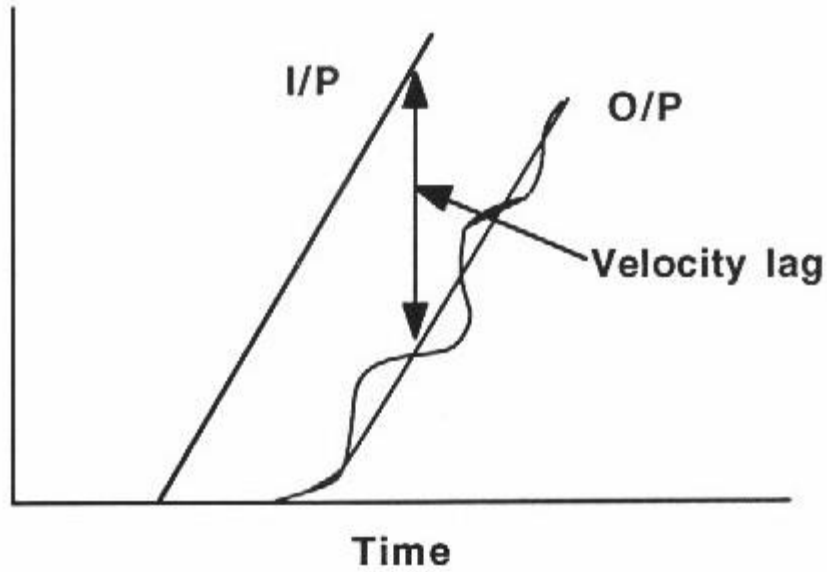
oldukça hızlı ve dik bir çıkış gösterir. Fakat böyle bir sistem, referans değeri etrafında büyük osilasyonlar oluşturur ve istenen referans değerinden aşırı aşmalar oluşturur. Orta kazanç değerlerinde sistemde, daha düşük aşma ve osilasyonlar meydana gelecek ve sistem cevabı yavaşlayacaktır. Daha düşük kazançlarda ise osilasyon olmayacak, sistem cevabı daha da yavaşlayacak ve referans değere hiçbir zaman ulaşamayacaktır.

Şekil 1’de görülen, zamanla genliği azalan osilasyonlara sahip karakteristiklere sönümlü (damped) denilmektedir. Buna göre, şekilde görülen karakteristiklerden orta ve yüksek kazanç değerlerine sahip olanlarına az sönümlü (underdamped), düşük kazanç değerlerine sahip olanlarına çok sönümlü (overdamped) adı verilir. Referans değerden hiç aşma (overshoot) olmaksızın referans değere eksponansiyel olarak artan karakteristiğe de kritik sönüm (critical damped) adı verilmektedir. Bu tanımlamalar, kontrol sistemlerinde bir parametre ile belirtilir ve sönüm yani damping derecesi (ξ) sembolü ile gösterilir. Bu parametre, kritik damping $\xi=1$, under damping 1’den daha az ($\xi<1$), over dampingde ise 1’den daha büyük ($\xi>1$) değerlerine sahiptir.

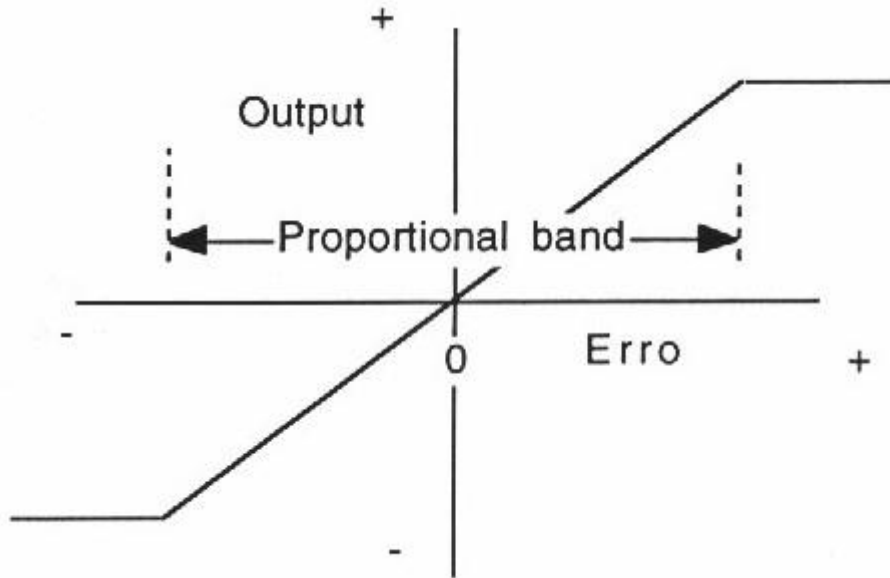


Şekil 1. Birim Basamak Cevabına ait Oransal Kontrol Karakteristiği

Şekil 2’de, zamanla değişen bir rampa giriş fonksiyonu için Oransal Kontrol sistemin çıkış karakteristiği görülmektedir. Sistem çıkışı, referans giriş değerini takip edecektir fakat sistem içindeki sürtünme gibi etkilerden dolayı giriş-çıkış sinyalleri arasında bir hata oluşacak ve aynı zamanda çıkış sinyali girişe göre geri kalacaktır. Bu geri kalma gecikme (velocity lag) olarak adlandırılır. Gecikmenin büyüklüğü sistem kazancına, sürtünmeye ve çıkış yüküne bağlıdır.



Şekil 2. Rampa Giriş Fonksiyonu Cevabına ait Sistem Karakteristiği



Şekil 3. Çıkışın Hataya Göre Değişim Eğrisi

Sistem kazancına bağlı olarak çıkış karakteristiğindeki osilasyonlar Şekil 2’de görülmektedir. Bu karakteristik incelendiğinde Orantılı Kontrolün tek başına, girişin zamanla değiştiği uygulamalar için uygun olmadığı görülür. Çıkış değeri referans değere ulaştığı zaman ise, hata sinyali oluşmayacak ve kontrol çıkışında hiçbir sinyal üretilmeyecektir. Bu anda çıkışa yerleştirilen bir yük, çıkışın durumunu değiştirir ve sistem bir hata sinyali oluşturarak yüklenmenin etkisini yok etmeye çalışacaktır. Ayrıca pratikte, sistem içerisindeki saturasyon etkileri nedeniyle kontrolör çıkışı tüm karakteristiğin sadece

belli bir kısmında hata ile orantılıdır. Özetle; Orantılı Kontrol yalnız başına kontrol uygulamaları için yeterli değildir, sistemde mutlaka sürekli rejim hatası vardır.

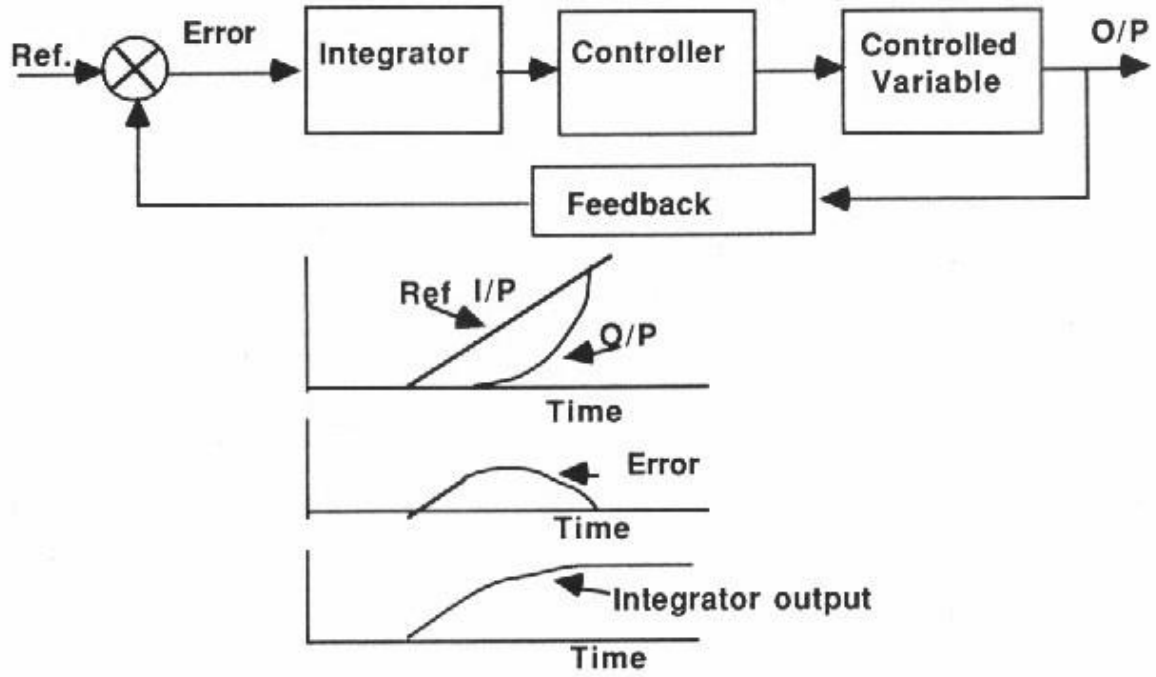
Şekil 3'te gösterildiği gibi, çıkışın hata ile orantılı olduğu kısma “Orantı Bandı” adı verilir.

1.2. İntegral (I) Kontrolör Karakteristikleri

İntegral kontrol, referans giriş ve gerçek çıkış değerleri arasındaki hatayı yok etmek için kullanılır. İntegratör elemanı, giriş değerine bağlı ve girişin integrali ile orantılı bir çıkış işareti üretir. İntegral Kontrol Çıkışı = $\frac{1}{T_i} \int e(t)dt$ şeklinde olmaktadır. Burada $e(t)$ hata değeri ve T_i ise integral zaman sabitidir.

Eğer integratör elemanına küçük bir hata sinyali uygulanırsa, zamanla hatalar toplanarak büyük bir çıkış sinyali üretecektir. Şekil 4, rampa girişi için integral eleman çıkışını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, bir hata değeri var iken, integratör çıkışı artmakta ve hatayı düzeltmek için kontrol birimini beslemektedir. Hata sıfıra doğru azaldığı zaman ise, integratör çıkışı sabit kalmaktadır. Bazı daha ileri hatalar, otomatik kompanzasyona neden olur. Bu durumda integratör devresinin kapasitesi içinde gereken çıkış sağlanır.

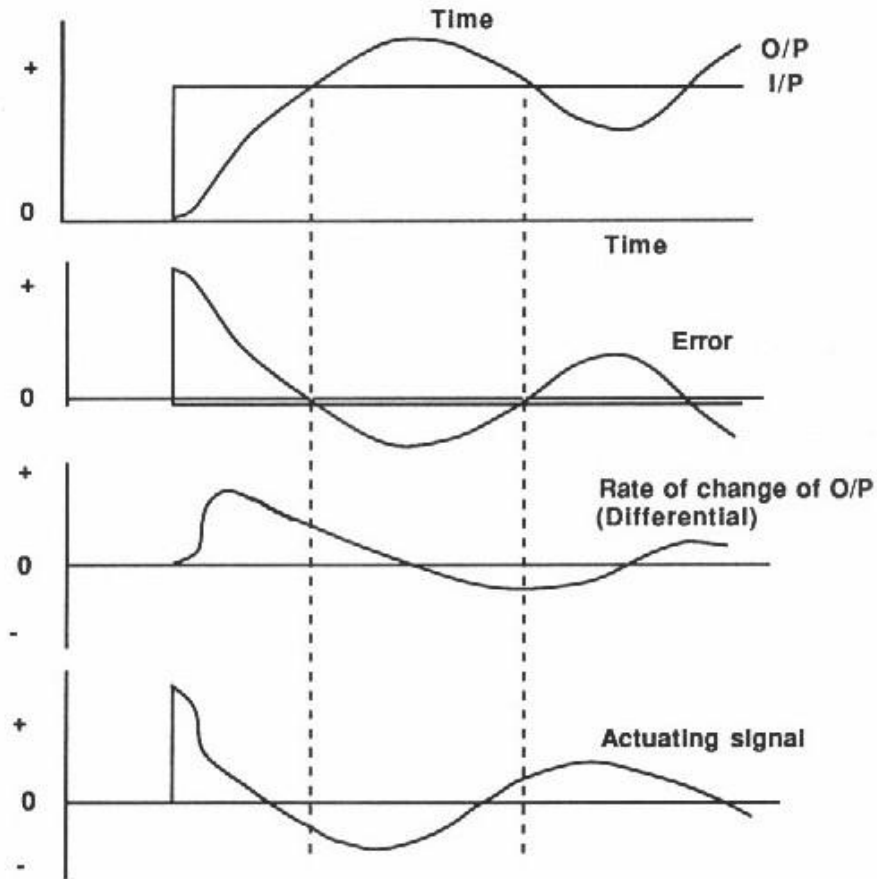
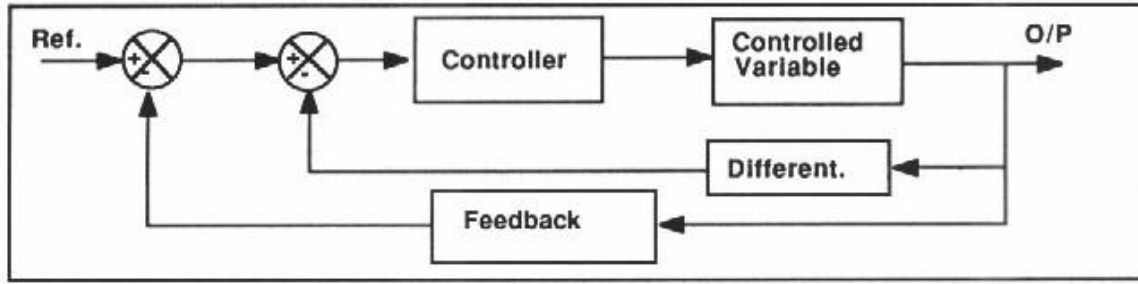
Normal olarak integral kontrol, oransal kontrol ile birleştirilir ve çıkış değerlerinin en son ayarı için integral kontrol terk edilerek oransal kontrol ana kontrol haline gelir. İntegral kontrol elemanları çıkış değişkeninin salınım eğrisini artırır.



Şekil 4. İntegral Kontrol

1.3. Türevsel (D) Kontrolör Karakteristikleri

Bir sistemdeki sürtünme gibi etkiler, sönüm (damping) oluşturur ve bu nedenle ancak yüksek sistem kazancı ile oransal kontrol altında çalışmaya müsaade edilir. Fakat sürtünme kayıpları bir güç sarfıyatına neden olur ve sistemin osilasyonlar sonunda kararlı duruma geçmesi için gereken süreyi artırır. Bu da geçici rejim cevabının artması demektir.



Şekil 5. Diferansiyel Kontrol

Hata sinyalinin değişim oranı veya çıkışın değişim oranı ile orantılı bir geri besleme sinyali eklenerek yapılan bir diferansiyel kontrolün sistem üzerindeki etkileri Şekil 5 ile gösterilmektedir.

Diferansiyel Kontrol Çıkışı $= T_d \frac{d}{dt} e(t)$ şeklinde olmaktadır. Burada $e(t)$ diferansiyel

kontrol girişi, T_d ise türev zaman sabitidir. Diferansiyel eleman çoğunlukla çıkış değişimini hissedip, buna karşı kontrol sinyalinin üretilmesi istenilen yerlerde kullanılır. Yani sistem çıkışı herhangi bir nedenle değişmeye başlarsa, bu değişimi sistem daha ilk anda

değerlendirmiş olacaktır. Diferansiyel eleman oransal kontrol ile kullanılırsa sürekli rejim hatasını küçültür ve integral eleman ile kullanılırsa salınım frekansını düşürür.

DENEYİN YAPILIŞI VE RAPORDA İSTENENLER

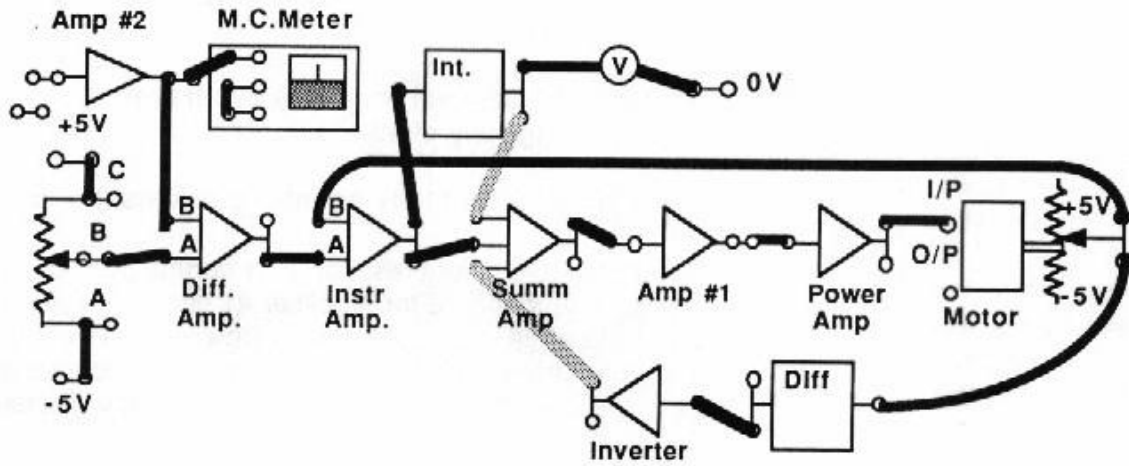
NOT: Deney sırasında referans ayar için kullanılan giriş potansiyometresini yavaşça değiştiriniz. Aksi halde sistem kararsız hale gelmekte ve motor mili sürekli olarak dönmektedir. Bu gibi bir kararsızlık durumunda potansiyometreyi merkeze veya sıfır volta ayarlamak gerekmektedir.

A. ORANSAL (P) KONTROLÖR

Bu deneyde herhangi bir sistemin konumunu, kapalı çevrim olarak kontrol etmek amacıyla kontrolör olarak oransal karakteristiğe sahip kontrolör kullanılacaktır. Kontrolör kazancı **Amp #1** ile ayarlanacaktır. Deney şemasından da görüldüğü gibi kontrolör, girişindeki referans gerilimle servo-potansiyometre çıkış gerilimi arasındaki fark işaretini kazanç ile çarparak çıkışa aktarır. Bu çıkış işareti güç amplifikatörü yardımı ile kuvvetlendirilerek PMDC motor girişine uygulanır. Motor mili giriş geriliminin değerine bağlı olarak döner. Motor milinin bu hareketi dişli düzenekleri yardımıyla bir sistemin konumunu kontrol etmek amacıyla kullanılır.

Ayrıca deneye başlamadan önce **Amp #1** ve **Amp #2** amplifikatörlerinin **OFFSET** ayarlarının yapılması gerekir. Bunun için amplifikatör girişine 0 volt vererek çıkışına bir analog voltmetre bağlanır. İlk olarak amplifikatörün hassas ayarını (fine gain) 1.0'e ve kaba ayarını (coarse gain) 10.0'a getirin. OFFSET kontrolünü yaklaşık sıfıra ayarlayınız. Kaba ayarı (coarse gain) 100.0'e getirerek ve tekrar sıfır çıkışı için ayarlayınız.

1. Deneye başlamadan önce deneyin bağlantı şeklini inceleyiniz. Sistemin nasıl çalıştığını irdeleyiniz.
2. Şekil 6 ile verilen deney bağlantı şemasını, integral ve diferansiyel elemanlar iptal edilerek sadece oransal kontrol elemanı ile gerçekleştiriniz. Servo-potansiyometre elemanını motor mili ile bağlantılı hale getiriniz. Başlangıçta **Amp #1** ve **Amp#2** (K_{P1} ve K_{P2}) kazançlarını 10 olarak ayarlayınız.



Şekil 6. Oransal-İntegral-Türevsel (PID) Kontrol Deney Şeması

3. +5 volt ile -5 volt arası çıkış verebilen 10 k Ω 'luk referans direnç çıkışını başlangıçta sıfır volta ayarlayınız ve sisteme enerji veriniz. Bu durumda, Amp#1'in kazancı $K_{P1}=10$ ve $V_{Ref}=0$ volt iken Servopotansiyometre çıkışı sıfır dereceyi göstermelidir. Eğer sıfır değilse Amp#1'in OFFSET ayarını kullanarak sıfırlayınız.
4. $K_{P1}=10$ iken, referans giriş gerilimini sırasıyla +2.5 volt, +5 volt, -2.5 volt, -5 volt değerlerine ayarlayarak servopotansiyometre konumunu Tablo 1'e kaydediniz.
5. $K_{P1}=5$ ve 1 için işlem 4'teki referans değerlerinde servopotansiyometre çıkışını tabloya kaydediniz.

Tablo 1. Servo-potansiyometre çıkış değerleri

Referans giriş gerilimleri	+2.5 volt	+5 volt	-2.5 volt	-5 volt
$K_{P1}=10$ için servo-potansiyometre konumu				
$K_{P1}=5$ için servo-potansiyometre konumu				
$K_{P1}=1$ için servo-potansiyometre konumu				

6. Tekrar Amp#1'in kazancını $K_{P1}=10$ ve referans gerilimini 3 volt olacak şekilde ayarlayınız. Hafızalı osilaskobun 1. Kanalına servopotansiyometre çıkışını bağlayınız. Osilaskobun TIME/DIV katsayısını 0.2 ms, VOLT/DIV katsayısını 1 olacak şekilde ayarlayınız. Osilaskoba enerji veriniz. GD ayarını yapınız. DC konumda çalıştırınız. Hafızaya almak için başlangıçta STOR düğmesine basınız ve MOD düğmesinden ROL lambasını yakacak şekilde birkaç defa basarak ayarlayınız. Şu anda ekranda kayan bir görüntü olmalıdır. Referans 3 volt iken referans giriş kablomuzu yuvasından çıkararak açıkta iken osilaskop ekranını gözleyiniz. Tekrar yerine takarak ekrandaki değişimi gözleyiniz.

İstedğiniz anda HOLD1 düğmesine basarak ekranı hafızaya alabilirsiniz. Elde edilen salınım eğrisini ölçekli olarak çiziniz. Yerleşme eğrisinden yararlanarak tanımlanan parametreleri (Maksimum aşma, Yerleşme süresi, sürekli hal hatası, vb) belirleyiniz.

7. İşlem 6'yı Amp#1'in kazancı 5 ve 1 için tekrarlayınız. Kazancın parametrelere etkilerini gözleyiniz. Kazancın hangi değeri için yerleşme zamanı en küçüktür tespit ediniz. Kararsızlık durumu var mıdır? Sebebinin matematiksel analiz yaparak irdelleyiniz.

8. Oransal Kontrol Sisteminin Kararlılık bölgesinin tespiti için Referans gerilim 0 volta ve Amp#1'in kazancı 10 iken Amp#2'nin OFFSET ayarını artırarak motor milinin sürekli döndüğü andaki Amp#2 çıkış değerini kaydediniz. Amp#2'nin OFFSET ayarını ters yönde yani azaltarak tekrar alt değeri tespit ediniz. Amp#1'in kazancı 5 ve 1 iken bu işlemleri tekrarlayınız. Elde ettiğiniz sonuçları Tablo 2'ye kaydediniz.

Tablo 2. Kararlılık Bölgesi

$K_{P1}=10$ için Kararlılık Bölgesi	
$K_{P1}=5$ için Kararlılık Bölgesi	
$K_{P1}=1$ için Kararlılık Bölgesi	

Sonuç olarak, basit oransal karakteristiğe sahip bu kontrol uygulaması için;

Düşük kazançlarda: Geniş kararlılık bölgesi ve birim basamak giriş için fazla sönümlü çıkış karakteristiği,

Orta kazançlarda: Orta kararlılık bölgesi ve birim basamak giriş için yaklaşık sönümlü çıkış karakteristiği ve

Yüksek kazançlarda: Dar kararlılık bölgesi ve birim basamak giriş için yaklaşık sönümsüz çıkış karakteristiğine sahiptir denebilir.

B. ORANSAL VE İNTEGRAL (PI) KONTROL

1. Bir önceki uygulamaya ek olarak fark amplifikatörü çıkışını integratöre, onun çıkışını da toplayıcı devreye bağlayınız. İntegral zaman sabitini 1 sn.'ye ayarlayın ve reset butonuna basınız.

2. Amplifikatörün (**Amp#1**) kazancını sırasıyla; 1, 5 ve 10 değerlerine ayarlayınız. Referans gerilimini 3 volt değerine ayarlayarak çıkış karakteristiklerini osilaskopla yukarıdaki gibi elde ediniz. Karakteristiklerin yerleşme zamanlarını, aşma miktarlarını karşılaştırınız. Aynı işlemleri integratör zaman sabiti 10 sn. ve 100ms. için tekrarlayınız.

Sonuç olarak bu uygulamada da görüldüğü gibi, integral kontrol elemanı oransal kontrol ile kullanıldığı zaman sürekli durum hatasını düzeltir ve integratörün zaman sabiti azaldıkça çıkış karakteristiğinin yerleşme zamanı azalır.

C. ORANSAL VE TÜREVSEL (PD) KONTROL

1. Deney düzeneğinde oransal kontrol elemanına ek olarak, Şekil 6'da gösterildiği gibi servo-potansiyometre çıkışını diferansiyel eleman girişine, onun çıkışını işaret dönüştürücü inverttere, onun da çıkışını toplayıcıya bağlayınız. Bir önceki deneyde bağlanan integral elemanını iptal ediniz.
2. Amplifikatör kazancını 10 ve diferansiyel eleman zamanını 1 s'ye ayarlayınız. 3 voltluk referans giriş için çıkış karakteristiğini osiloskoplarda elde ediniz. Bu işlemleri diferansiyel zaman sabiti 100 ms. ve 10 ms. için tekrarlayınız.

Bu uygulamada da görüldüğü gibi türevsel (diferansiyel) kontrol ile sistemin geçici durum hataları düzeltilmektedir. Türevsel kontrol elemanının sürekli durum hatasına etkisi yoktur.

D. ORANSAL-İNTEGRAL VE TÜREVSEL (PID) KONTROL

1. Şekil 6 ile verilen deney şemasını (oransal, integral ve türevsel elemanların hepsini) bağlayınız. İntegral eleman reset butonuna basınız. Amplifikatör (**Amp#1**) kazancını 10 yapınız ve referans gerilim olarak 3 volt uygulayınız.
2. İntegratör ve diferansiyel eleman zaman sabitlerinin değişik değerlerinde çıkış karakteristiklerini kaydediniz. Bu karakteristikler arasında kritik sönümlü olan karakteristiği belirleyiniz ve zaman sabitlerini kaydediniz.

DENEYLE İLGİLİ SORULAR:

1. Her deney için çıkış karakteristiklerini çizin ve karşılaştırınız. Geçici ve sürekli duruma nelerin etki ettiğini yazınız.

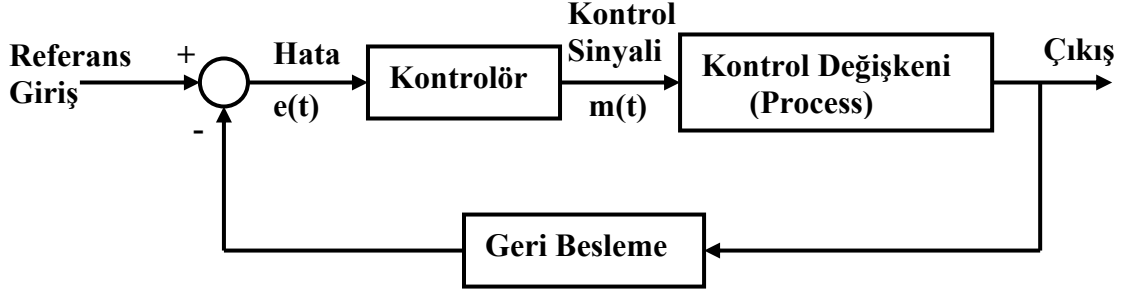
2. Şekil 6. ile verilen sistemde, kullanılan elemanlar ideal ve motor fonksiyonu

$$G_m = \frac{0.2}{s(s + 0.2)} \text{ olarak kabul edersek, a) PID kontrolde elde ettiğiniz, kritik sönüm}$$

parametrelerinde sistemin transfer fonksiyonunu bulunuz. b) Kararlılığını inceleyiniz.

2. HIZ KONTROL SİSTEMİ

2.1. Temel Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi



Şekil 7. Temel Kapalı Çevrim Kontrol Sistemin Blok Diyagramı

Temel olarak sistemin girişi ve çıkışı arasındaki fark hata (error) olarak algılanır ve bu işaret denetleyicinin girişine uygulanır. Denetleyici bu hata işaretini kullanarak sistem çıkışının istenen değere ulaşması için gerekli olan kontrol işaretini üretir ve bu kontrol işaretini kontrol edilmek istenen sistemin girişine uygular.

2.2. Kontrol Yöntemleri

2.2.1. Açık-Kapalı (ON-OFF) Kontrol:

Bu tür kontrol sistemlerinde, denetleyicinin yalnızca iki konumu vardır. Eğer sistemin çıkışı arzu edilen değerden düşükse denetleyicinin çıkışı maksimum, aksi takdirde minimumdur.

2.2.2. Oransal (P) Kontrol:

Bu tür kontrol sistemlerinde denetleyicinin çıkışı hata işareti ile doğru orantılıdır. Burada K_P , bilindiği gibi oransal kazanç olmak üzere, $m(t) = K_P e(t)$ olmaktadır.

2.2.3. İntegral (I) Kontrol:

Bu tür kontrol sistemlerinde denetleyicinin çıkışı hata işaretinin integrali ile orantılıdır. Burada T_i , integral zamanıdır ve $m(t) = \frac{1}{T_i} \int e(t) dt$ olmaktadır.

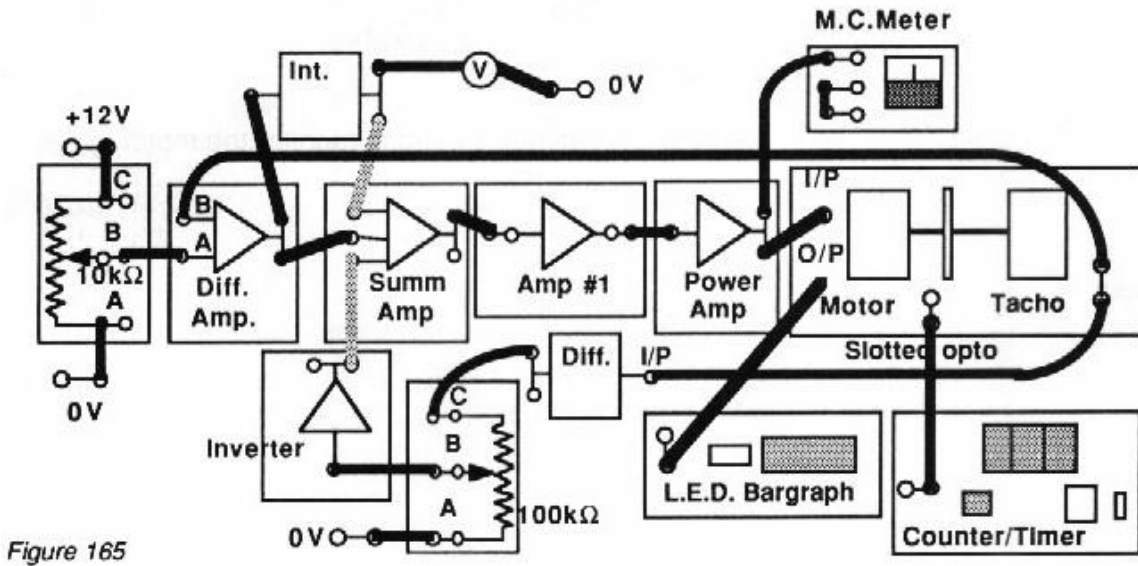
2.2.4. Türevsel (D) Kontrol:

Bu tür kontrol sistemlerinde denetleyici çıkışı hata işaretinin türevi ile orantılıdır.

Denetleyici çıkışı $m(t) = T_d \frac{d}{dt} e(t)$ ve burada T_d türev zamanıdır.

DENEYİN YAPILIŞI VE RAPORDA İSTENENLER

Deneye başlamadan önce amplifikatörlerin offset ayarlarını yapınız. Sistemde devir ölçme elemanı olarak takogenaratörü kullanılacaktır. Ancak bu eleman çıkışının geri besleme olarak kullanılabilmesi için bir alçak geçiren filtre ile filtre edilmesi gerekmektedir. Filtre zaman sabitini 100 ms 'ye ayarlayınız.



B. KAPALI ÇEVİRİM ORANSAL (P) KONTROL

1. Yukarıdaki sisteme ek olarak takogenaratörün çıkışını bir alçak geçiren filtreden geçirdikten sonra diferansiyel ambuifikatörün girişine bağlayınız. Amplifikatör kazanç katsayısı 10 ve 0.1 yani kazancı 1'e ayarlayınız. Bu durumda sistem kapalı cevrim hale gelecektir.
2. Motorun hızını 15 dev/sn 'ye ayarlayınız. (Motor gerilimi 4V). Motorun miline elinizi hafifçe dokundurarak yükleyiniz ve motorun akımını, gerilimini ve hızını gözleyiniz
3. Motor girişine ya da toplayıcı çıkışına bir digital hafızalı osilaskop bağlayınız. Referans girişin değişik değerlerinde sistemin geçici rejim salınım eğrilerini inceleyiniz ve kaydediniz
4. Amplifikatör kazancının 3 ve 4 değerleri için aynı işlemleri tekrarlayınız Elde ettiğiniz sonuçları yorumlayınız.

C. KAPALI ÇEVİRİM ORANSAL- İNTEGRAL (PI) KONTROL

1. Bunun için yukarıdaki bağlantılara ek olarak, integral alıcı devrenin çıkışını toplayıcıya bağlayınız ve integral zamanını 1 sn 'ye ayarlayınız.
2. Motorun hızını yukarıdaki gibi 15 dev/sn 'ye ayarlayınız ve motoru elinizi dokundurarak hafifçe yükleyiniz. Bu durumda motorun hızını ve integral alıcı devrenin çıkışını gözleyiniz Osilaskop ile değişik referans değerlerinde geçici rejim salınım eğrilerini gözleyiniz ve kaydediniz. Yükü kaldırınız ve yine motorun hızını ve integratörün çıkışını inceleyiniz. İntegrator zaman sabitini 100 ms 'ye ayarlayınız ve aynı işlemleri tekrarlayınız Yukarıdaki şekilde osilaskopdan alınan karakteristikleri karşılaştırınız.
3. Yükseltecin kazancını 3 'e ayarlayınız ve yukarıdaki işlemleri tekrarlayınız

D. KAPALI ÇEVİRİM ORANSAL-İNTEGRAL-TÜREVSEL (PID) KONTROL

1. Türev alıcı devreyi inverter üzerinden toplayıcıya bağlayınız. Türev alıcı devrenin zaman sabitini 10 ms 'ye ayarlayınız ve potansiyometre ile geri besleme miktarını sıfırlayınız, amplifikatör kazancını 3 (yani katsayıları 10 ve 0.3 değerlerine) ayarlayınız ve integrator zaman sabitini 100 ms' ye getiriniz
2. Motorun hızını bilinen usullerle 15 dev/sn 'ye ayarlayınız ve türevsel geri besleme değerini artırınız. Motorun gürültülü çalıştığına dikkat ediniz. Bu olay türevsel geri beslemeli sistemlerin en temel problemidir. Bu problemin önüne geçmek için türev alıcının

çıkışını alçak geçiren bir süzgeçten geçirdikten sonra toplayıcıya bağlamak gerekir. Alçak geçiren filtrenin zaman sabitini 100 ms 'ye ayarlayınız, devreye ilave ediniz. Bu durumda geri besleme oranını artırarak sonuçları gözleyiniz. Motoru yükleyerek akımını, gerilimini ve hızını ölçünüz ve kaydediniz. Değişik referans değerleri için geçici rejim salınım eğrilerini gözleyiniz.

DENEYLE İLGİLİ SORULAR

1. Her deney için çıkış karakteristiklerini çizin ve bu karakteristikleri karşılaştırınız. Geçici durum ve sürekli duruma nelerin etki ettiğini yazınız.
2. Pratikte kullanılan bu gibi sistemlere örnekler veriniz.
3. Eğer kontrol edilen işlem lineer bir yapıya sahip olmasaydı ve bu gibi bir sistemin kontrol edilmesi istenseydi nasıl bir çözüm önerirdiniz? Araştırınız.

DENEY NO : 3

DENEYİN ADI : MOTOR HIZ VE YÖN KONTROLÜ

DENEYİN AMACI : Bu deneyde bir AC servo motorun hız ve yön kontrolünün yapılması amaçlanmıştır.

REFERANSLAR :

1. Teko Elektronik Srv-01 Kontrol Deney Seti.
2. Modern Control Engineering, Ogata G., Prentice Hall International Inc.
3. Otomatik Kontrol Sistemleri, Kuo B. C., Prentice Hall International Inc.
4. Servo Motor ve Sürücüleri (523EO0076), Elektrik-Elektronik Teknolojisi, MEB.

DENEY HAKKINDA TEORİK BİLGİLER

Servo motor, bir mekanizmada son kontrol elemanı olarak görev yapan motordur. Genellikle güç sağlayan motorlar belirli bir hızda dönmeye göre tasarlanırken servo motorlar çok geniş bir hız komutunu yerine getirecek şekilde tasarlanır. Servo motorlar kullanıcının komutlarını yerine getiren motorlardır. Komutlar, pozisyon ve hız komutları veya hız ve pozisyonun birleşimi olabilir. Bir servo motor şu karakteristiklere sahip olmalıdır:

1. Geniş bir hız sınırı içinde kararlı olarak çalışabilmelidir.
2. Devir sayısı, hızlı ve düzgün şekilde değiştirilebilmelidir. Yani küçük boyuttan büyük moment elde edilebilmelidir.

Servo motor AC ya da DC olarak bulunur. İlk zamanlarda servo motor genelde DC motorlardır. Çünkü uzun yıllar yüksek akımlar için tek kontrol yöntemi tristör kullanılmaktaydı. Transistörler yüksek akımları kontrol etme yeteneği kazandıkça ve yüksek akımları yüksek frekanslarda anahtarlandıkça servo motorlar daha sık kullanılmaya başlandı. İlk servo motor özellikle güçlendiriciler için tasarlanmıştı. Step motor kullanılmayan kapalı devre (çıkışın kontrol edildiği) sistemlere servo sistem diye adlandırılmaktadır. Bu yüzden hız kontrolcüyeye bağlanmış basit bir AC indüksiyon motorunun da servo motor olarak adlandırmak mümkündür.

AC SERVO MOTOR

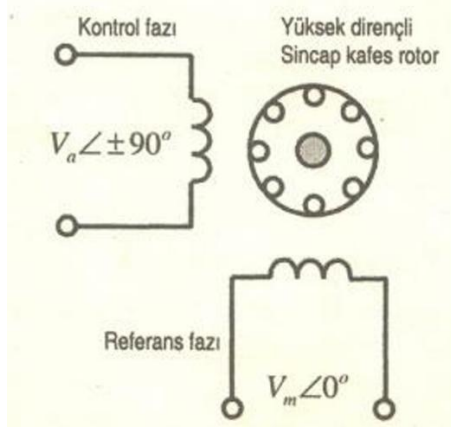
DC servo motorların güçleri birkaç “Watt”tan birkaç yüz “Watt”a kadar olabilir. DC servo motorlar, yüksek güçlü uygulamalarda kullanılır. Günümüzde AC servo motorlar hem düşük hem de yüksek güç uygulamalarda kullanılmaktadır. AC motorların yapıları basit ataletleri düşüktür. Ancak, genellikle doğrusal olmayan özellik gösteren ve yüksek manyetik bağa sahip makinelerdir. Ayrıca moment-hız karakteristikleri DC servo motorlarındaki gibi ideal değildir. Bunların yanı sıra AC servo motorları aynı boyuttaki DC servo motor ile karşılaştırıldıklarında daha düşük momente sahiptir. Çeşitli AC servo motorlara örnekler Şekil 1’de verilmiştir.



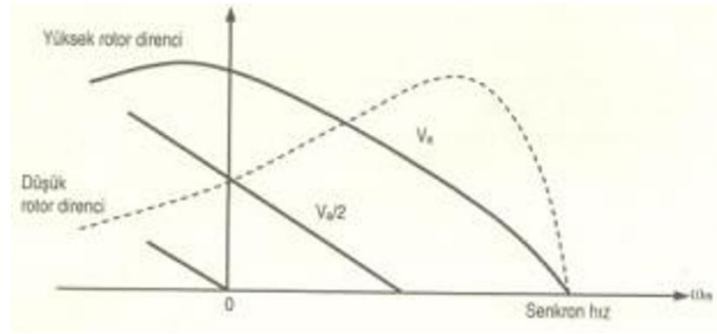
Şekil 1. AC Servo Motorlara örnekler

Kontrol sisteminde kullanılan çoğu servo motor AC servo motorlar, iki faz sincap kafesli asenkron makinelerdir. Frekansları normal olarak 60 Hz veya 400 Hz olabilir. Yüksek frekans hava yolu sistemlerinde kullanılmaktadır. İki faz AC servo motorun şematik diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir. Stator birbirinden 90° elektriksel açıyla dağıtılmış iki sargıdan oluşur. Sargının biri, referans fazı veya sabitlenmiş faz olarak adlandırılır ve genliği sabit bir AC gerilim kaynağına ($V_m < 0$) bağlanır. Diğer kontrol fazı olarak adlandırılır ve referans fazı ile aynı frekansa sahip genliği ayarlı bir AC gerilimle beslenir ancak kontrol fazı ile referans fazı arasında 90 elektrik derecesi vardır. Kontrol fazının gerilimi genellikle bir servo yükselteçten sağlanır. Motorun dönüş yönü, kontrol fazı ile referans fazı arasındaki faz ilişkisinin ileri veya geri olmasına bağlıdır. Dengeli iki –faz geriliminin genlikleri eşit ($V_a = V_m$) olduğunda motorun moment hız karakteristiği üç faz asenkron motora benzerdir.

Düşük rotor dirençlerinde bu karakteristik doğrusal değildir (Şekil 2.a). Böyle bir moment-hız karakteristiği, kontrol sistemlerinde kabul edilemez. Ancak, rotor direnci yüksek ise moment hız karakteristiği Şekil 2.b'deki gibi geniş bir hız aralığında özellikle sıfır hız seviyelerinde aslında doğrusaldır. İki faz asenkron makineyi kontrol etmek için referans sargısı genliği sabit bir alternatif gerilim ile kontrol sargısı ise genliği ayarlanabilen bir alternatif gerilimle beslenir.



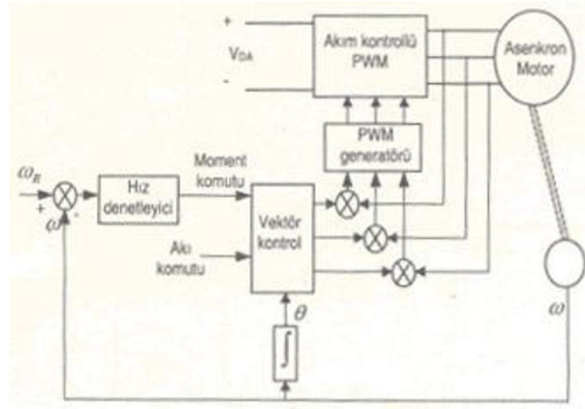
(a)



(b)

Şekil 2. a) İki-Faz AA Servo motor b) İki faz AA servo motorun moment-hız grafiği

DC servo motorlar, yüksek güç servo sistemlerin uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda yüksek-güç sistem uygulamalarında üç-faz asenkron motorun servo motor olarak kullanımı üzerine yapılan araştırmalar başarıya ulaşmış ve 3 fazlı asenkron motor yüksek-güç uygulamalarında hızlı bir şekilde yerini almaya başlamıştır. 3 fazlı asenkron motor yapı olarak dayanıklı olmakla beraber doğrusal olmayan bir özelliğe sahiptir ve bundan dolayı kontrolü karmaşıktır. Son yirmi yıldaki çalışmalar, 3 fazlı asenkron motorun yabancı uyarımlı DC motoru gibi kontrol edileceğini göstermiştir. 3 fazlı asenkron motorun stator akım vektörünün birbirine dik, birbirinden bağımsız iki bileşenle temsil edildiği ve dik bileşenlerden biriyle momentin diğeriyle akının kontrol edileceği tekniğe vektör moment tepkisi sağlanmaktadır (Şekil 3). Vektör kontrollü 3 fazlı asenkron motorun servo motor olarak kullanılmasına ilişkin bir blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3. Vektör kontrollü 3 fazlı asenkron motorun servo motor olarak kullanımı

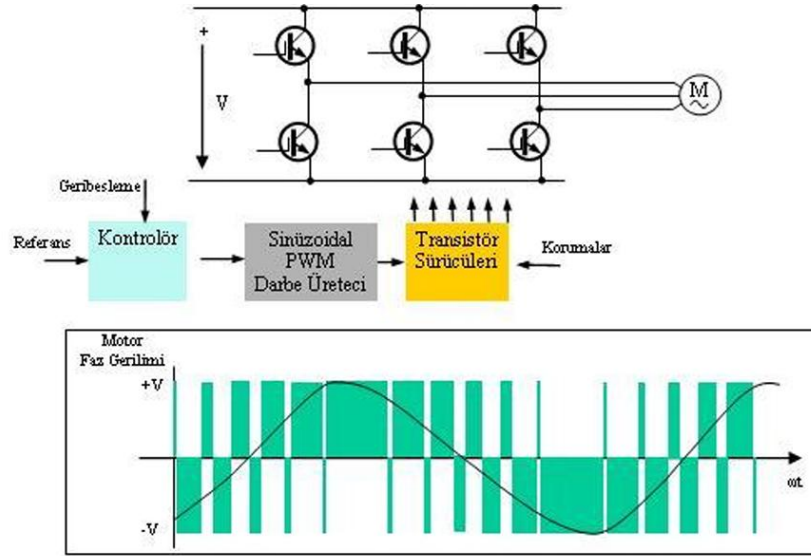
AC SERVO SÜRÜCÜ

Motor, aktarma organı ve yükten oluşan mekanik servo sistemin hız, moment veya pozisyon değişkenlerinden herhangi birinin bu değişkenle ilgili verilen referans değerine uygun olarak hareket ettirilmesini sağlayan elektronik güç elemanıdır. Servo sürücüler DC servo sürücüler ve AC servo sürücüler olarak ikiye ayrılır. Bu deneyde AC servo motor kullanıldığı için AC servo sürücüye yer verilmiştir. Bu elemanlara örnekler Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. AC Servo Motorlar ve AC Servo Sürücüleri

Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu ile çalışan, analog veya dijital yapıda sürücülerdir. Geri besleme olarak hall sensör, çözümleyici artırımı enkoder veya mutlak (sin/cos) enkoder kullanılır. Dinamik performansı yüksek kullanımı bilgi gerektiren DC servo sürücülere göre daha pahalıdır. İnvertörlerde kullanılan transistörler rotor konum bilgisine uygun göre uygun sırada iletme veya kesime geçirilerek motor kontrolü yapılır.



Şekil 5. AC Servo Motorların Çalışma Prensibi

DENEYİN YAPILIŞI VE BAĞLANTI ŞEMASI



Şekil 6. Kontrol deney seti

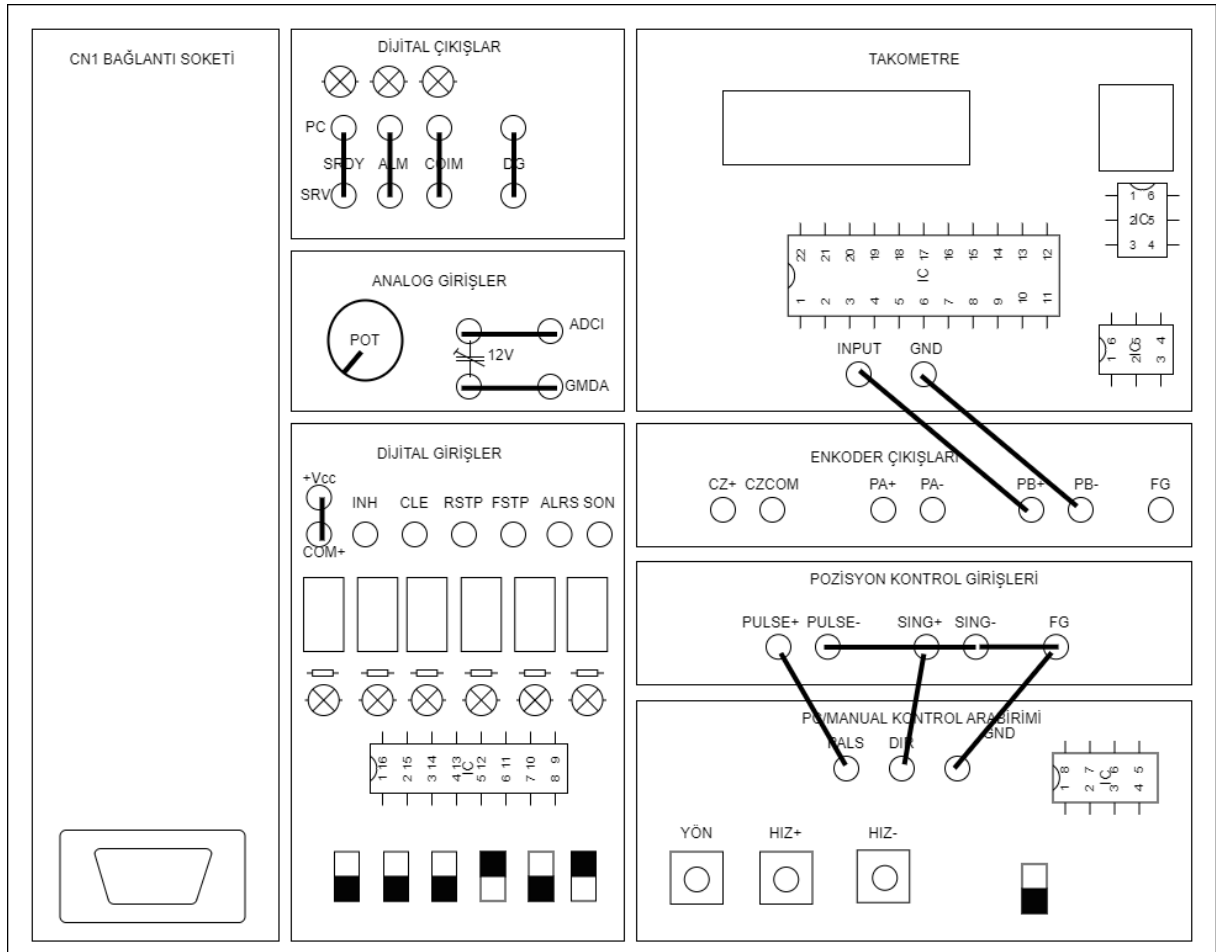


Şekil 7. Motor ve sürücü deney seti

Şekil 6’da verilen kontrol deney setinde dijital girişlerin anlamları Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Kontrol deney setinde yer alan dijital girişlerin anlamları

Dijital Giriş Adı	Anlamı
SON	Motoru aktif eder.
ALRS	Sistem alarmını aktif eder.
FSTP	Motorun yön değiştirmesini sağlar.
RSTP	Motorun yön değiştirmesini sağlar.
CLE	Eğer açıksa pozisyon kontrolü boyunca sapma yoktur.
INH	Geri bildirim alınmasını sağlar.



Şekil 8. Deney bağlantı şeması

1. Şekil 8’de gösterildiği gibi deney bağlantı şemasını yapınız.
2. Deney Seti ile Sürücü arasındaki bağlantıyı uygun kablo ile yapınız.
3. Dijital Girişler kısmındaki “SON” anahtarını ON konumuna alınız.
4. Takometrede gösterilen devri “HIZ+” ve “HIZ-” tuşlarını kullanarak değiştiriniz.
5. Motoru durdurunuz ve Dijital Girişler kısmındaki “FSTP” anahtarını ON konumuna alınız ve “YÖN” tuşuna basınız.
6. Madde 4’ü tekrar yapınız ve motorun yönünün değişip değişmediğini gözlemleyiniz.
7. Motoru durdurunuz ve “FSTP” anahtarını OFF konumuna alıp “YÖN” tuşuna basarak 4. Maddeyi tekrarlayınız.
8. Motoru durdurunuz ve “SON” anahtarını OFF konumuna alıp motorun dönüp dönmeyeceğini tartışınız.

DENEY NO : 4

DENEYİN ADI : 1-DOF HELİKOPTER KONTROLÜ

DENEYİN AMACI : Bu deneyde amaç, 1-DOF helikopter sisteminin kapalı çevrim kontrol sistemleri kullanarak kontrol etmek ve bu doğrultuda P, PD ve PID kontrolörler kullanarak giriş işaretiyle ilgili olarak çıkış karakteristiklerini incelemektir.

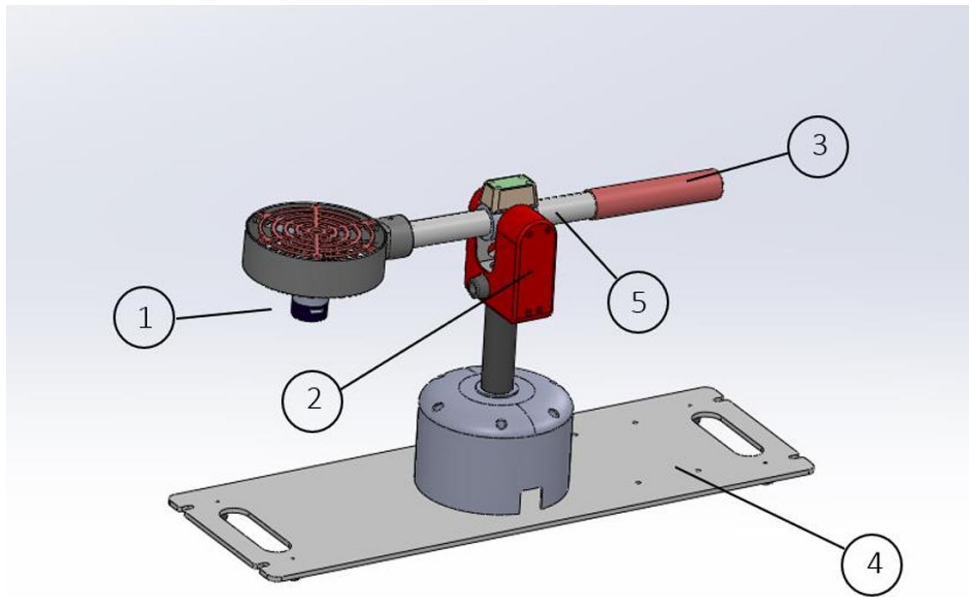
REFERANSLAR :

1. Acrome 1-DOF Helicopter Courseware, Version 2024.1
2. Process Control Instrumentation Technology, Johnson C., Prentice Hall International Inc.
3. Modern Control Engineering, Ogata G., Prentice Hall International Inc.
4. Otomatik Kontrol Ders Notları, Aydoğdu Ö., Konya Teknik Üniversitesi

DENEY HAKKINDA TEORİK BİLGİLER

1. HELİKOPTER SİSTEMİNİN BİLEŞENLERİ

1-DOF Helikopterin temel parçaları Şekil 1’de görülmektedir. Burada 1 numaralı parça Fırçalı DC motoru, 2 numara ile gösterilen artımlı dönel enkoderi, 3 numara ile ifade edilen sistemin temelini, 4 numara denge bloğunu ve 5 numara kirişi temsil etmektedir.



Şekil 1. 1-DOF Helikopter

1.1. Artımlı Dönel Enkoder

Enkoder döndürüldüğünde, bir artımlı dönel sadece döngüsel çıktılar sağlar. Dönel enkoderler düşük maliyetli oldukları ve hareketin konumu veya hızı hakkında bilgi elde etme yeteneğine sahip oldukları için, tüm dönel enkoderler arasında en yaygın kullanılanlar artımlı dönel enkoderlerdir. Şekil 2’de bu enkodere bir örnek verilmiştir. Artımlı dönel enkodere ait teknik detaylar Tablo 1’de yer almaktadır. Optik enkoder, benzersiz konumları belirlemek için ışık optiği kullanır. Optik enkoderler, devir başına 4 milyon sayım çözünürlüğe sahip olabilir. Bu nedenle optik enkoder tercih edilmektedir.



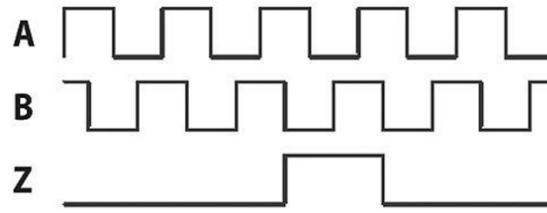
Şekil 2. Artımlı Dönel Enkoder

Tablo 1. Artımlı Dönel Enkoderin Teknik Detayları

Elektriksel ve Mekaniksel Özellikler	
Dönme Hızı	3500rpm
Mil Yüğü	80N
Çalışma Sıcaklığı	-20 °C.... +80°C
Kaynak Gerilimi	5V DC, 8-24V DC veya 5-24V DC
Mil Çapı	40mm
Sertifika	IP54
Akım Gereksinimi	<40mA (24VDC)
Çıkış Kanalları	Push-Pull, TTL veya HTL Linedriver
Çıkış Fazı	A,B,Z veya A,A';B,B';Z,Z'

Optik enkoder, dayanıklılık ve çözünürlüğün bir kombinasyonunun gerektiği çok daha zorlu koşullarda bir faz dizisi ile çalışabilir. Bu helikopter sisteminde, üç çıkış fazından yalnızca iki tanesi gereklidir; bunlar A ve B fazlarıdır. Sıfır veya referans sinyali olarak

adlandırılan Z-terminali, her dönüş için tek bir darbe verir. Bu tek darbe, bir referans konumunu belirlemek için kullanılabilir. Çıkış sinyalleri Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Encoder Çıkış Sinyalleri

1.2. Fırçalı DC Motor

Pololu 37D güçlü, yüksek hızlı (11000 rpm) fırçalı DC motordur ve motor milinde bütünleşmiş bir 64 CPR dörtlü enkoderli veya enkodersiz olarak temin edilebilir. Motor 12V'luk kullanım için tasarlanmıştır, ancak genel olarak bu tür motorlar nominal voltajın üzerinde ve altında da çalışabilir ve 1V gibi düşük voltajlarda dönmeye başlayabilir. Şekil 4’te bu motora ait bir görsel verilmiş olup teknik detayları Tablo 2’de yer almaktadır.



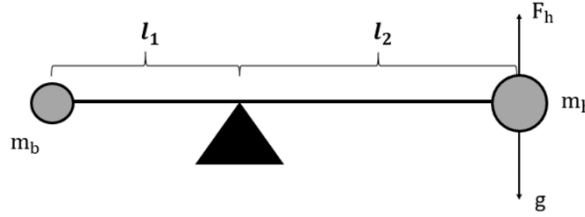
Şekil 4. Fırçalı DC Motor (Pololu 37D)

Tablo 2. Fırçalı DC Motorun Teknik Detayları

Elektriksel ve Mekaniksel Özellikler	
Dişli Oranı	1:1
Boşta Çalışma Hızı (12V)	11000
Boşta Çalışma Akımı (12V)	0.3A
Durma Akımı	5A
Durma Torku	0.3 kg x cm

1.3. 1-DOF Helikopterin Mekanığı

Şekil 5'te görüldüğü üzere, DC motor denge çubuğunun bir tarafında, denge bloğu ise çubuğun diğer tarafında yer almaktadır. Denge bloğunun konumu ayarlanabilir. Pervane döndüğünde, denge çubuğu pitch ekseninde hareket eder. Pozisyon okumaları için enkoder çubuğun ortasına yerleştirilmiştir.



Şekil 5. 1-DOF Helikopterin Fiziksel Modeli

2. SİSTEM MODELLEME VE SİSTEM CEVABI

2.1. Sistem Modelleme

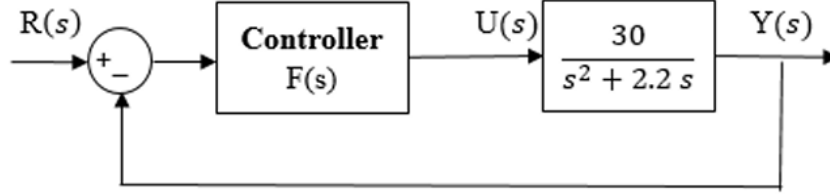
1-DOF helikopter sisteminin fiziksel modeli Şekil 5'te gösterilmiştir. Sistem parametreleri Tablo 3'te açıklanmıştır. Bu parametreler, 1-DOF Helikopter sisteminin matematiksel modelini elde etmek için kullanılacaktır. Kirişin açısını ölçmek için kiriş doğrudan enkodere monte edilmiştir. Motor enerjilendiğinde ve F_h , helikopterin ağırlığından ($m_h \times g$) büyük olduğunda, helikopter yükselir.

Tablo 3. 1-DOF Helikopter Parametreleri

Sembol	Tanım	Değer	Birim
l_1	Denge bloğu ile pivot noktası arasındaki birim mesafe	[Min – Max] [0.1365-0.1375]	[m]
l_2	Motor ile pivot noktası arasındaki birim mesafe	0.2	[m]
m_h	DC motorun ve kafesin toplam kütlesi	0.185	[kg]
m_b	Bloğun kütlesi	0.274	[kg]
J_e	Sistemin atalet momenti	0.0124	[kg x m ²]
g	Yerçekimi ivmesi	9.81	[m/s ²]
I_s	Motor akımı	(Değişken)	[amper]
θ	Kiriş açısı	(Değişken)	[derece]

Sistemin transfer fonksiyonu Denklem 1’deki gibi elde edilmiştir. Sisteme ait blok diyagramı Şekil 6’da görülmektedir.

$$\frac{\theta(s)}{I_s(s)} = \frac{K \cdot l_1}{J_e \cdot s^2 + k_f \cdot s} = \frac{30}{s^2 + 2.2 s} \quad (1)$$



Şekil 6. Sistemin Blok Diyagramı

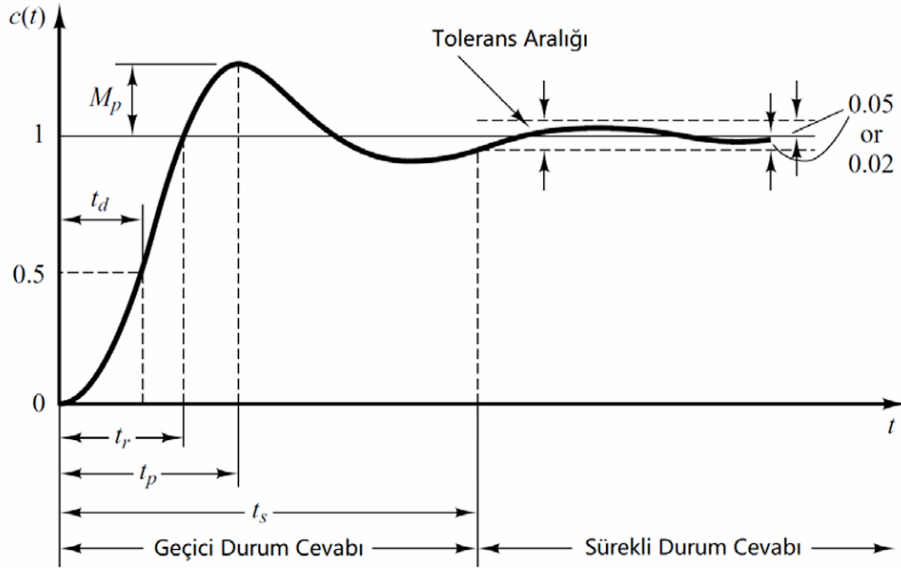
2.2. Sistem Cevabı

İkinci mertebe sistemler için bir basamak girişi uygulandığında performans ölçütleri veya kriterleri tanımlanır. Sistemler göz önünde bulundurularak farklı performans ölçütleri belirlenir. Performans ölçütlerine bağlı olarak **sönüm oranı (ξ)** ve **doğal frekans (ω_n)** bulunur. Ayrıca, sönüm oranı ve doğal frekans biliniyorsa, performans ölçütleri hesaplanabilir. Bu bölümde tüm parametreler incelenmektedir.

Basamak girişi uygulandığında, sistem sönüm oranına bağlı olarak bir tepki verir. Sönüm oranı ve sistem tepkisi ilişkilendirmesi Tablo 4’te görülebilir. Sönüm oranı “0” olduğunda, doğal frekans sistemin salınım frekansıdır. Doğal frekans, yerleşim süresi veya tepe zamanı kullanılarak hesaplanır.

Birim Basamak Giriş için İkinci Derece Sistemlerin Geçici Cevap Büyüklükleri

Geçici durum cevabına ilişkin tanımlar, sisteme giriş olarak birim basamak fonksiyonunun uygulanmasıyla meydana gelen cevap esas alınarak sistemin ilk anda durgun olduğu ve tüm başlangıç şartlarının sıfır olduğu kabul edilerek bulunur. Kararlı bir kontrol sisteminin birim basamak cevabına ilişkin değişim tipik olarak aşağıda şekildeki gibi verilebilir. Şekil 7’de birim basamak giriş için ikinci derece sistemlerin geçici ve sürekli durum cevap eğrisi verilmiştir.



Şekil 7. Birim Basamak Giriş için İkinci Derece Sistemlerin Geçici Cevap Büyüklükleri

M_p : Maksimum aşma (Maximum overshoot),

t_d : Gecikme zamanı (Delay time),

t_r : Yükselme zamanı (Rise time),

t_p : Maksimum değere erişme zamanı (Peak time),

t_s : Yerleşme zamanı (Settling time) 'dır.

Cevap eğrisinde, sürekli durum cevabı için, bir tolerans aralığı tanımlanır ve genellikle bu aralık %2 veya %5 olarak alınır.

İkinci dereceden sisteme ait transfer fonksiyonu genel olarak,

$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

gibi verilen sistemde, yukarıda tanımlanan büyüklükler, ξ ve ω_n parametreleri kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenebilir.

Gecikme Zamanı- t_d (Delay time): Başlangıçtan itibaren son değer yarısına ulaşmaya kadar geçen zamandır. Birim basamak giriş için $c(t)=0.5$ olduğu andır ve değeri cevap ifadesi kullanılarak ($t \rightarrow t_d$) için;

$$0 < \xi < 1 \text{ durumunda } t_d \cong \frac{1+0.7\xi}{\omega_n} \text{ ile yaklaşık bulunur.}$$

Yükselme Zamanı- t_r (Rise time): Cevabın son değerine ilk ulaşıldığı ana kadar geçen süredir. Bu süre aşırı sönümlü sistemlerde genellikle cevabın %10...%90'a yükselmesi için geçen zamandır. Çoğu uygulamalarda %5...%95'e veya 0...%100'e alınabilir. Bu sürenin değeri $c(t)=1$ ve $(t \rightarrow t_r)$ için;

$$t_r = \frac{\pi - \theta}{\omega_d}; \theta = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \right); \theta = \cos^{-1}(\xi) \text{ ile bulunur.}$$

Maksimum Değere Erişme Zamanı- t_p (Peak time): Cevabın ilk maksimum değere yani, maksimum aşmaya ulaşmasına kadar geçen süredir ve değeri cevabın türevinden bulunur.

$$t_p = \frac{n\pi}{\omega_d} = \frac{n\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}}, n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Yerleşme Zamanı- t_s (Settling time): Cevabın izin verilen tolerans değerleri aralığına girdiği andaki zamandır. Literatürde genellikle tolerans aralığı çıkışın olması gereken değerinin %2'si veya %5'i olarak tanımlanır. %5'lik tolerans değeri daha sık kullanılan bir değerdir.

$$t_s = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\xi \omega_n}$$

$$\%2 \text{ toleransa göre: } t_s = 4T = \frac{4}{\alpha} = \frac{4}{\xi \omega_n}$$

$$\%5 \text{ toleransa göre: } t_s = 3T = \frac{3}{\alpha} = \frac{3}{\xi \omega_n}$$

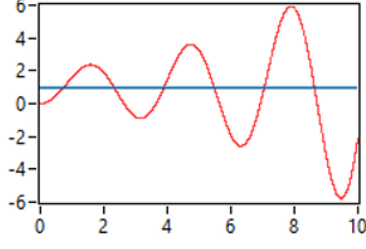
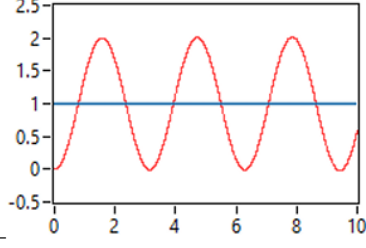
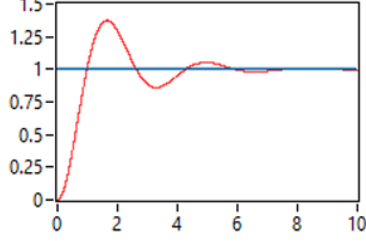
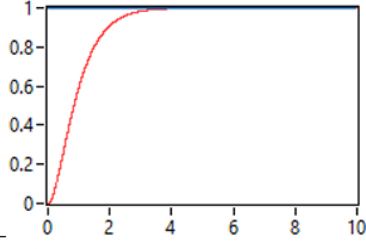
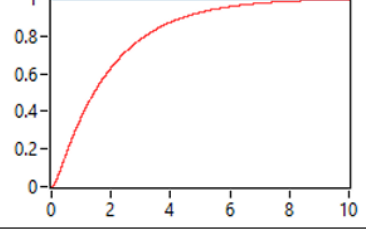
Maksimum Aşma- M_p (Maximum overshoot): $c(t)$ sisteminin birim basamak cevabı olmak üzere $c(t)$ 'nin maksimum değeri c_{max} , sürekli durum değeri c_{ss} ile belirlensin. ($c_{max} \geq c_{ss}$) olmak üzere maksimum aşma cevabın ilk maksimumdaki değeri ile istenen çıkış değeri ($c_{ss}=1$) arasındaki farktır.

$$M_p = e^{-\frac{\alpha}{\omega_d} \pi} = e^{-\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \pi}$$

Pratikte maksimum aşma zaman döneminde tanımlanır ve genellikle de % olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\%M_p = \frac{M_p}{c_{ss}} \times 100$$

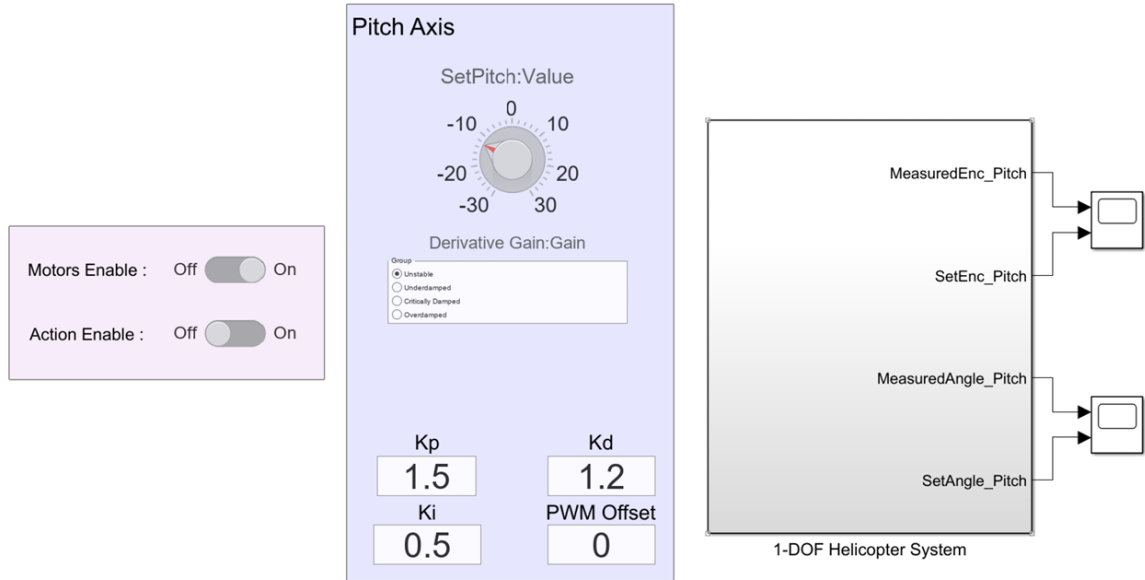
Tablo 4. Sönüm Oranı, Sistem Davranışı ve Sistem Cevap Eğrileri

Sönüm Oranı	Sistem Davranışı	Sistem Giriş ve Çıkış Grafiği
$\xi < 0$	Unstable	
$\xi = 0$	Undamped	
$0 < \xi < 1$	Underdamped	
$\xi = 1$	Critically Damped	
$1 < \xi$	Over damped	

DENEYİN YAPILIŞI

A. HELİKOPTERİN CEVAP ANALİZİ

1. “Helicopter_PerformanceMeasure.slx” dosyasını açın.



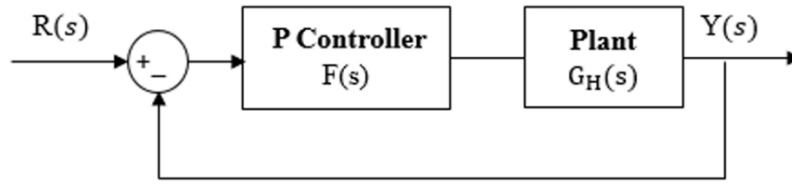
Şekil 8. “Helicopter_PerformanceMeasure.slx” blok diyagramı

2. Programı çalıştırın. Enable ve Action butonlarını aktif edin.
3. Unstable, Underdamped, Critically Damped seçeneklerinden birini seçin ve Switch'ten Adım'ı tıklayın.
4. Grafikten maksimum aşma, yerleşme süresi, tepe zamanı ve sürekli durum hatasını hesaplayın.
5. Grafikte sistemi giriş ve çıkışlarını gözlemleyin ve performans ölçütlerini belirleyin.
6. Ana ekrana dönmek için 'Home' tuşuna tıklayın ve farklı bir seçenek seçin. Ardından 'Step'e tıklayın ve performans ölçümlerindeki değişiklikleri gözlemleyin.
7. Sonuçları Tablo 5'e kaydedin.

Tablo 5. Helikopter Cevap Analizi Sonuçları

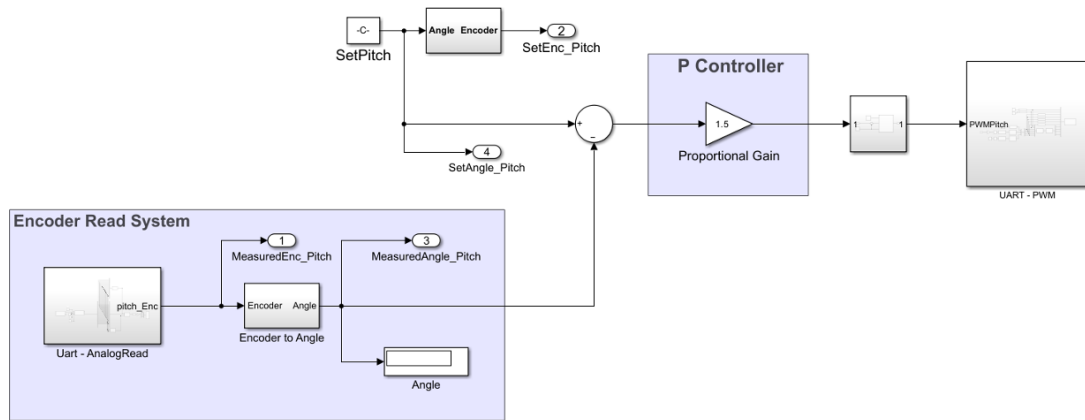
Sistem Davranışı	Maksimum Aşma (M_p)	Yerleşme Süresi (t_s)	Tepe Zamanı (t_p)	Sürekli Durum Hatası (e_{ss})

B. ORANSAL (P) KONTROLÖR İLE HELİKOPTER KONTROLÜ



Şekil 8. P Kontrolör ile Denetlenen Sisteme Ait Genel Bir Blok Diyagramı

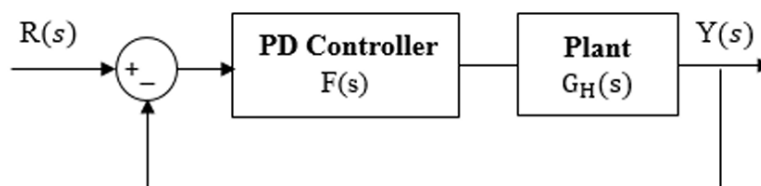
1. “Helicopter_P_Design.slx” dosyasını açın.



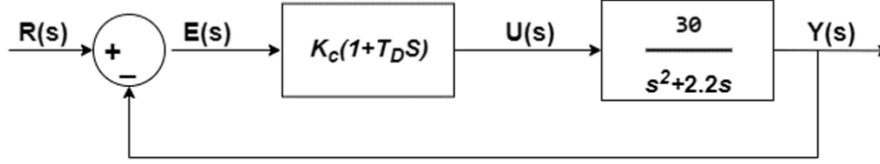
Şekil 9. P Kontrolör ile Helikopter Kontrolü için Blok Diyagramı

2. Programı çalıştırın. Enable ve Action butonlarını aktif edin.
3. Scope'a çift tıklayarak açın.
4. Gerçek zamanlı sistem cevabını gözlemleyin.
5. Sistem kararsız hale geldiğinde Kazanç değerini not edin. Kararlı bir konum elde edebilirsiniz, ama bu her belirli açı için aynı olur mu?

C. ORANSAL-TÜREVSEL (PD) KONTROLÖR İLE HELİKOPTER KONTROLÜ

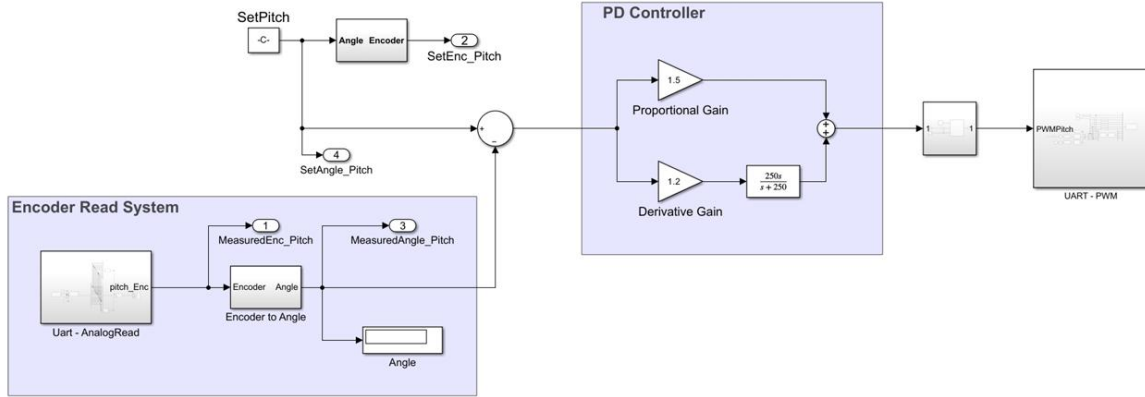


Şekil 10. PD Kontrolör ile Denetlenen Sisteme Ait Genel Bir Blok Diyagramı



Şekil 11. PD Kontrolör ile Denetlenen Helikopter Sistemine Ait Blok Diyagramı

1. “Helicopter_PD_Control.slx” dosyasını açın.



Şekil 12. PD Kontrolör ile Helikopter Kontrolü için Blok Diyagramı

2. Programı çalıştırın. Enable ve Action butonlarını aktif edin.

3. Scope’a çift tıklayarak açın.

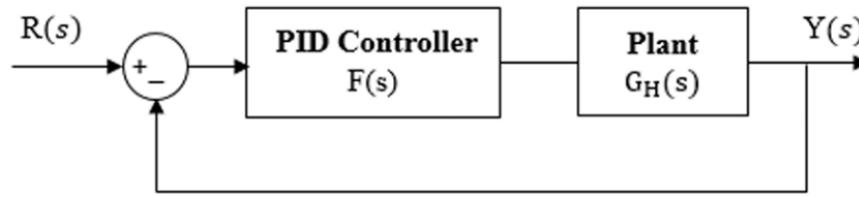
4. Gerçek zamanlı sistem cevabını gözlemleyin.

Şekil 12’ye göre aşağıdaki soruları cevaplayın.

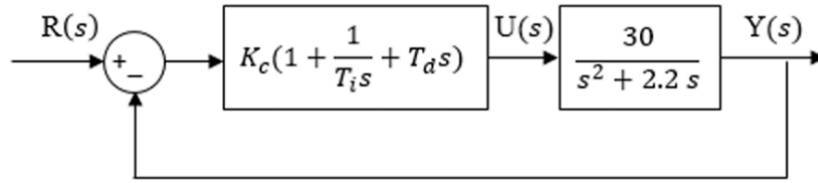
1. Açık çevrim transfer fonksiyonunun derecesini belirleyin.
2. PD kontrolörlü sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonunu bulun.
3. Kapalı çevrim sisteminin karakteristik denklemini elde edin.
4. Performans ölçütlerini belirleyin ve ξ ve ω_n değerlerini hesaplayın ($10\% \leq M_p \leq 20\%$ ve $2 \leq t_s \leq 5$ saniye aralığını seçin).
5. 4. adım ile istenen karakteristik denklemi elde edin
6. 3. ve 5. adımlarda hesaplanan polinomları eşitleyin ve kontrolör parametrelerini bulun.
7. Kontrolörden sonra sistemin mertebesi kaçtır? Değişiyor mu?
8. Tasarlanan PD kontrolörü ile adım cevabını “Helicopter_PD_Design.slx” üzerinden çizin. Kapalı çevrim sistem kararlı mı?
9. Sürekli durum hatasının değeri nedir?
10. Tasarlanan kontrolör parametrelerini simülasyona ve gerçek zamanlı sisteme uygulamadan önce uygun bir PWM Nötr değeri (775 ve 825 arasında) girmeniz ve

çalıştığından emin olmanız gerekir. Emin olmak için ilk çalışma sırasında PWM Nötr değerini ayarlayabilirsiniz. Daha sonra tasarlanan kontrolör parametrelerini “Helicopter_PD_Design.slx” aracılığıyla simülasyon ve gerçek zamanlı sisteme uygulayın. Simülasyon ve gerçek sistemin yanıtlarındaki farklılıkları tartışın ve bunların tutarlı olup olmadığını değerlendirin.

D. ORANSAL-İNTEGRAL VE TÜREVSEL (PID) KONTROLÖR İLE HELİKOPTER KONTROLÜ

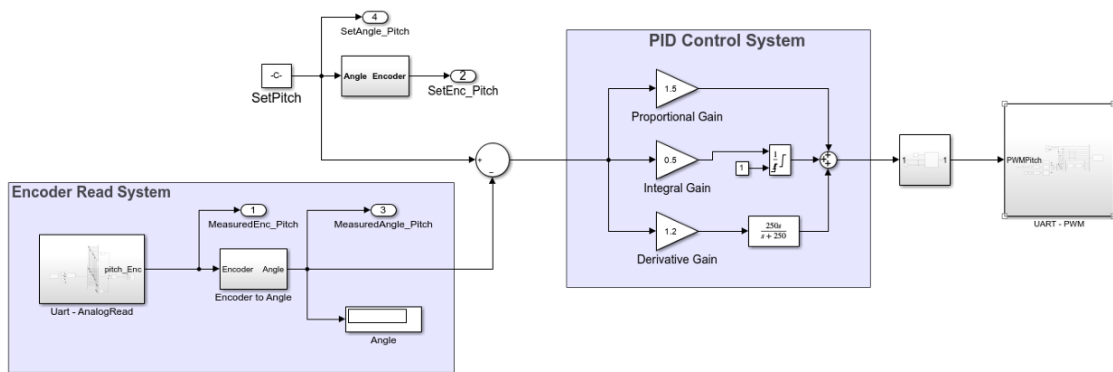


Şekil 13. PID Kontrolör ile Denetlenen Sisteme Ait Genel Bir Blok Diyagramı



Şekil 14. PID Kontrolör ile Denetlenen Helikopter Sistemine Ait Blok Diyagramı

1. “Helicopter_PID_Control.slx” dosyasını açın.



Şekil 15. PID Kontrolör ile Helikopter Kontrolü için Blok Diyagramı

2. Programı çalıştırın. Enable ve Action butonlarını aktif edin.
3. Scope’a çift tıklayarak açın.
4. Gerçek zamanlı sistem cevabını gözlemleyin.

Şekil 15'e göre aşağıdaki soruları cevaplayın.

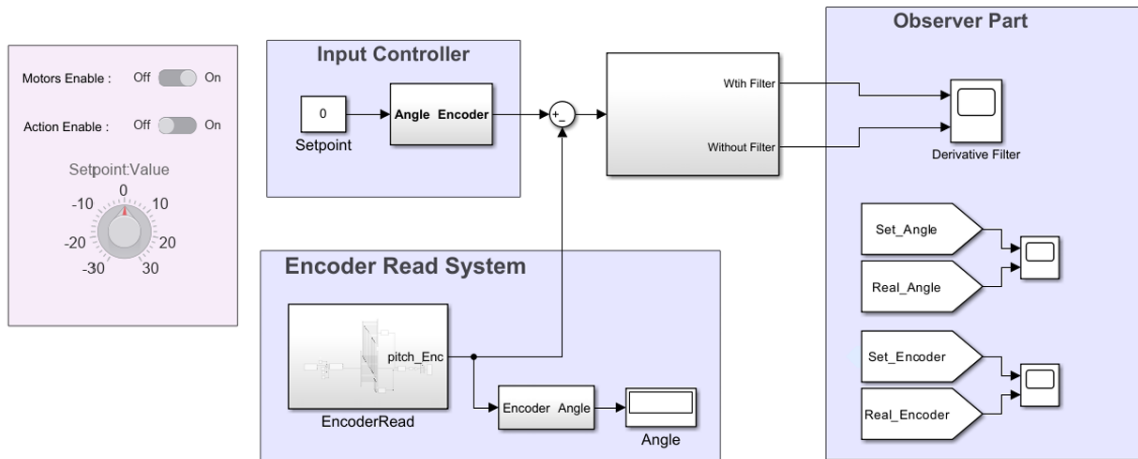
1. Açık çevrim transfer fonksiyonunun derecesini belirleyin.
2. PID kontrolörlü sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonunu bulun.
3. Kapalı çevrim sisteminin karakteristik denklemini elde edin.
4. Performans ölçütlerini belirleyin ve ξ ve ω_n değerlerini hesaplayın ($\%10 \leq M_p \leq \%15$ ve $2 \leq t_s \leq 5$ saniye aralığını seçin).
5. Artık polinomu belirleyin ve 4. Adımda bulduğunuz değerlerle istenen karakteristik polinomu elde edin.
6. 3. ve 5. adımlarda hesaplanan polinomları eşitleyin ve kontrolör parametrelerini bulun.
7. Kontrolörden sonra sistemin mertebesi kaçtır? Değişiyor mu?
8. Tasarlanan PID kontrolörü ile adım cevabını “Helicopter_PID_Design.slx” üzerinden çizin. Kapalı çevrim sistem kararlı mı?
9. Sürekli durum hatasının değeri nedir?
10. Tasarlanan kontrolör parametrelerini simülasyona ve gerçek zamanlı sisteme uygulamadan önce uygun bir PWM Nötr değeri (775 ve 825 arasında) girmeniz ve çalıştığından emin olmanız gerekir. Emin olmak için ilk çalışma sırasında PWM Nötr değerini ayarlayabilirsiniz. Daha sonra tasarlanan kontrolör parametrelerini “Helicopter_PD_Design.slx” aracılığıyla simülasyon ve gerçek zamanlı sisteme uygulayın. Simülasyon ve gerçek sistemin yanıtlarındaki farklılıkları tartışın ve bunların tutarlı olup olmadığını değerlendirin.

E. FİLTRELEME

Döngü süresi birkaç milisaniyenin katıdır; ölçülen verilerdeki küçük değişiklikler bile döngü süresine bölünür, bu yüzden bunların türevi yüksek bir sayı olur ve bu da birçok dalgalanmaya neden olur. Bu nedenle, sistem cevabını yavaşlatmak ve dalgalanmaları azaltmak için dahili bir filtre kullanılmalıdır. PID kontrolörde türev terimine bir düşük geçiren filtre, dahili filtre olarak uygulanır. Deneme yanılma yoluyla dahili filtre olarak “20” kesim frekansı seçilmiştir. Bu filtrenin aktarım fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir:

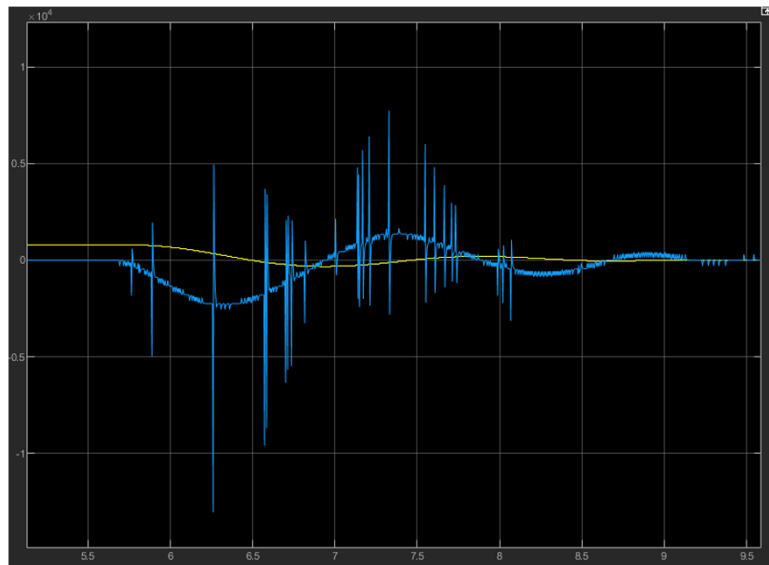
$$Filtre(s) = \frac{250s}{s + 250}$$

1. “DerivativeFiltering.slx” dosyasını açın.



Şekil 16. Filtreleme Blok Diyagramı

Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş enkoder veri grafiklerini osiloskopta görmek mümkündür. Parametreleri yukarıda bahsedilen optimal değerlere önceden ayarlanmıştır.



Şekil 17. Türevsel filtre yanıtı (Filtreli ve filtresiz)

2. Denge bloğunu hareket ettirin ve helikopter açısının sağ tarafa yaptığınız hareketle birlikte değiştiğini fark edin.
3. Denge bloğunu hareket ettirirken grafiği gözlemleyin. Görebileceğiniz gibi, filtrelenmemiş enkoder verilerinde hesaplama yapmadan önce ortadan kaldırılması gereken daha fazla dalgalanma vardır. Filtrelenmiş verilerin ise istenilen değere daha yakın olduğunu, dalgalanmaların azaldığını fark edin.
4. Filtre parametrelerini değiştirin. Farklı parametrelerle filtre ve sistem nasıl tepki verecek?

DENEY NO : 5

DENEYİN ADI : **TOP VE KİRİŞ**

DENEYİN AMACI : Bu deneyde amaç, top ve giriş sisteminin kapalı çevrim kontrol sistemleri kullanarak kontrol etmek ve bu doğrultuda P, PD ve PID kontrolörler kullanarak giriş işaretine bağlı olarak çıkış karakteristiklerini incelemektir.

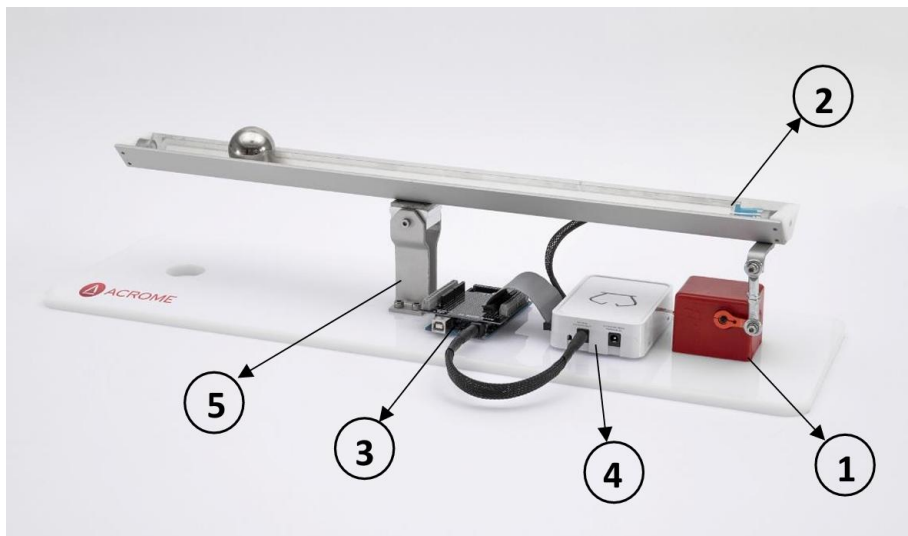
REFERANSLAR :

1. Acrome Ball and Beam Courseware, Version 20221
2. Process Control Instrumentation Technology, Johnson C., Prentice Hall International Inc.
3. Modern Control Engineering, Ogata G., Prentice Hall International Inc.
4. Otomatik Kontrol Ders Notları, Aydoğdu Ö., Konya Teknik Üniversitesi

DENEY HAKKINDA TEORİK BİLGİLER

1. SİSTEMİN BİLEŞENLERİ

Acrome Top ve Kiriş sisteminin temel parçaları Şekil 1’de görülmektedir. Burada 1 numara RC servo, 2 numaralı parça potansiyometre sensörünü, 3 numara Raspberry Pi ve Acrome Kontrolörünü, 4 numaralı kısım Acrome güç dağıtım kutusunu, 5 numara ise bu sistemin mekanik kısmını temsil etmektedir. Kiriş, sistemin taban plakasına bir serbestlik derecesine sahip eklem üzerinden bağlanmıştır. Servo motor, iki tarafında bilyalı eklemler bulunan bir bağlantı ile kirişe bağlanmıştır. Potansiyometre sensörü kirişe yapışmıştır.



Şekil 1. Top ve Kiriş Sistemi

1.1. RC Servomotor

RC servomotorları, elektrik sinyallerini dönel harekete dönüştüren elektromekanik cihazlardır. Çoğu kontrol ve robotik uygulama için basit ve kullanışlı çözümler sunarlar. Şekil 2’de bir RC servomotor, Şekil 3’te ise servomotorun iç yapısı görülmektedir.



Şekil 2. Bir RC servomotor

Kontrolör: Kontrol sinyallerini (PWM sinyalleri) okuma ve motoru buna göre kontrol etme sorumluluğuna sahip devredir. Kontrolör devreleri servo tipini belirler; bunlar dijital veya analog olabilir. Analog servo motorlar 50 Hz frekansına kadar olan PWM sinyallerini işler. Dijital servo motorlar ise bu PWM sinyallerini daha hassas bir şekilde işler. 330 Hz'e kadar olan sinyalleri çözebilirler. Bu çözümleme farkı motorlara daha fazla tork sağlayabilir. Buna ek olarak; dijital servo motorlar, hareket yönü veya ölü bant sınırları gibi birkaç parametreyi programlamaya da olanak tanır. Genel olarak; dijital servo motorlar, maliyet ve enerji tüketimi açısından dezavantajları olsa da analog servo motorlara göre daha avantajlıdır.

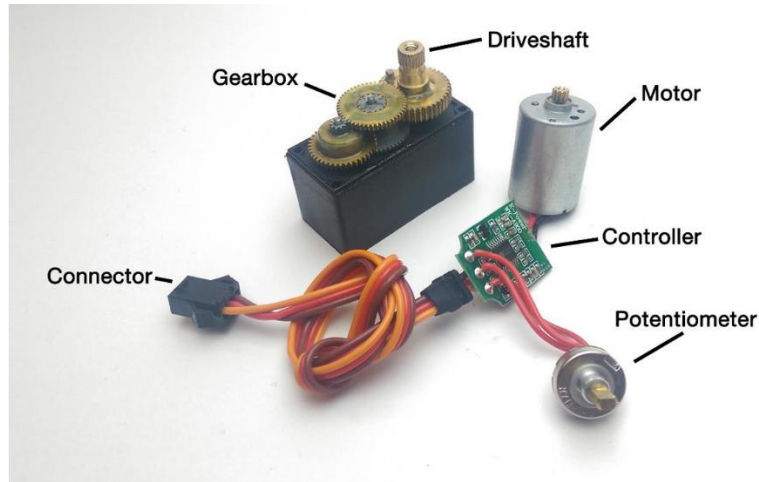
Potansiyometre: Ana şaftın pozisyon geri bildirimi, potansiyometre tarafından sağlanır. Potansiyometre, şaftın dönüşüyle farklı dirençler oluşacak şekilde tahrik miline bağlanmıştır. Direnç değerleri okunarak, kontrolör dişli kutusunun açısını tam olarak bilir.

Motor: Servoların motorları genellikle H-köprüleri aracılığıyla kontrol edilen yüksek hızlı DC motorlardır ve bu köprüler motorun kontrol devresinde bulunur.

Dişli Kutusu: Dişli seti, tahrik mili ile motor arasında yer alır. Motorun devir hızını düzenleyerek daha düşük hareket hızı ve daha yüksek tork sağlar.

Tahrik Mil: Tahrik mili, tüm sistemin çıkışıdır. İstenen açıya dönen asıl bileşendir.

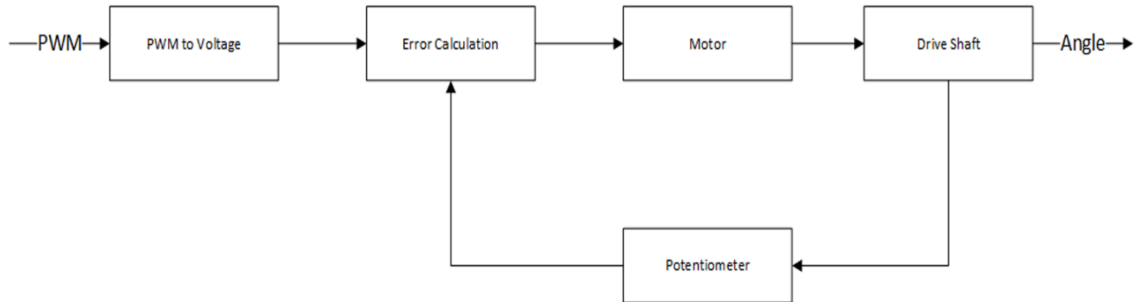
Konnektör: Genellikle kontrolöre "+", "-" ve "sinyal" ileten üç pinleri vardır. Konnektörlerin renk kodları üreticiye bağlı olarak farklılık gösterebilir.



Şekil 3. RC Servomotor İç Yapısı

Servo aslında sürekli giriş sinyali gerektiren kapalı devre bir kontrol sistemidir. Kontrolör ile servo motorlar arasındaki ilişki şöyle açıklanabilir: Kontrolör;

- PWM giriş sinyalini çözümler ve bunu bir açıya karşılık gelen bir voltaja dönüştürür.
- Potansiyometre voltaj değerlerini okur ve mil pozisyonunu belirler.
- Giriş ve potansiyometre voltajı arasındaki farktan hatayı hesaplar.
- Hatayı H-köprüsü çıkışına dönüştürür.



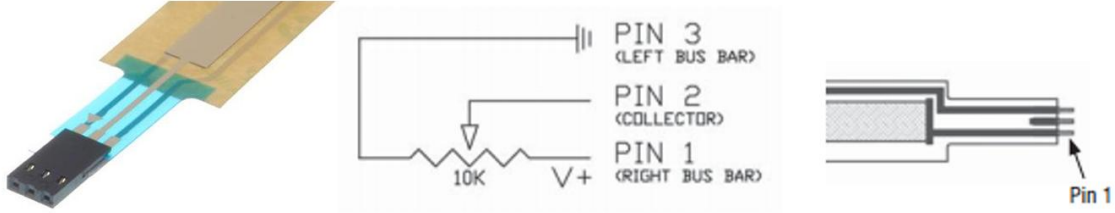
Şekil 4. RC Servo Çalışma Teorisi

1.2. Potansiyometre Sensör

Topun pozisyon geri bildirimi, Şekil 5'te gösterilen potansiyometre sensöründen elde edilmektedir. Şekil 6'da potansiyometre sensörünün pinleri verilmiştir.



Şekil 5. Potansiyometre Sensör



Şekil 6. Potansiyometre Sensörün Pinleri

Şekil 6'da potansiyometre sensörünün uzunluğu 50 cm'dir, potansiyometrenin “+”, “-” ve “kolektör” olmak üzere 3 pini vardır. Pin 3, “-” terminali olarak toprak hattına bağlanmıştır, pin 1, “+” terminali olarak VCC terminaline (5 volt) bağlanmıştır ve pin 2 analog girişe bağlanmıştır.

Bir potansiyometrenin çalışma prensibi şu şekilde açıklanabilir: Potansiyometrenin direnç değeri, topun temas noktasıyla birlikte 100 ohm ile 10000 ohm arasında değişir. Temas noktasının tam konumunu öğrenmek için 0 ila 5 Volt arasındaki analog voltaj kullanılır; bu, potansiyometrenin anlık direncine bağlıdır. Pin A5, Arduino'nun analog girişine bağlanır. Arduino, analog girişteki analog voltajı (0-5 Volt) 10 bit çözünürlükle dijital forma dönüştürür; böylece 3,3 Volt 1024'e, 0 Volt ise 0'a karşılık gelir. Sonuç olarak, konum verisinin çözünürlüğü aşağıda verilmiştir.

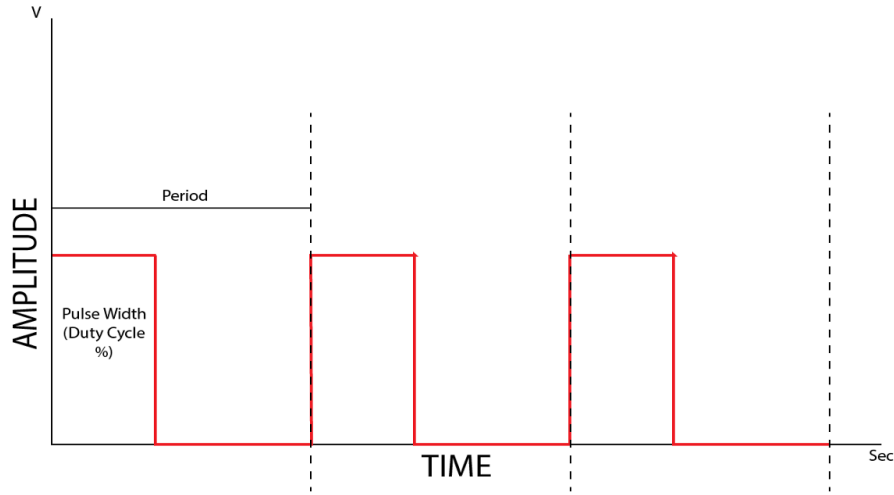
$$\text{Çözünürlük} = \frac{5 - 0}{2^{10}} \text{ Volt} \cong 0.00488 \text{ Volt}$$

2. DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONU (PULSE WIDTH MODULATION, PWM)

2.1. PWM Nedir?

Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation, PWM) Tekniği, özellikle endüstride kullanılmaktadır. Bu teknik, dijital sinyaller kullanarak analog sinyaller üretir. Kolayca üretilebilir ve uygulanabilir. RC servomotora gelince, basit açma/kapama darbeleri sinyal kullanır. Giriş sinyaline bağlı olarak, RC servomotor bir açı çıkışı verir. Sonuç olarak, PWM ve RC Servomotor birbirini iyi tamamlar.

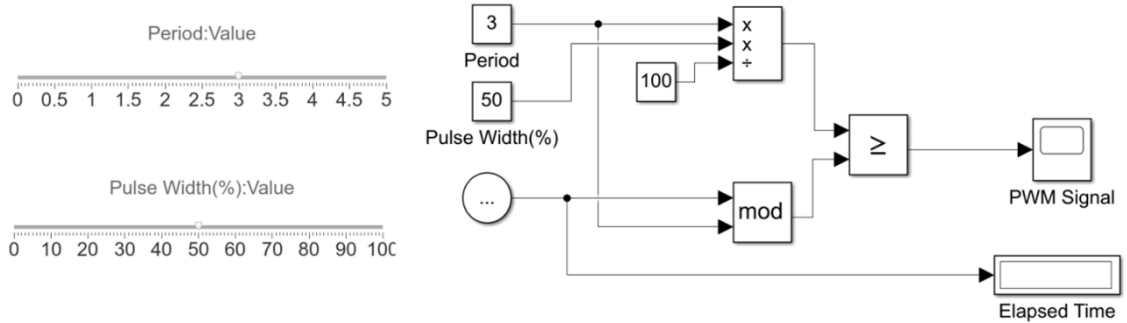
PWM, analog sinyalleri dijital olarak kodlamak için kare dalga üretmek için kullanılan güçlü bir yöntemdir; bu kare dalga'nın belirli bir görev döngüsü, analog sinyali kodlamak için modüle edilir. PWM tekniği, anahtarlama güç kaynakları ve motor kontrolü gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. PWM tekniği, periyot, frekans, genlik ve görev döngüsü gibi çeşitli özelliklere sahip bir kare PWM sinyali üretir. Periyot, sinyalin tekrarlanması için gereken zaman aralığıdır ve frekans, bu sinyallerin 1 saniye içindeki meydana gelme sayısını gösterir. Genlik, PWM sinyalinin yüksek veya düşük durumunun voltaj seviyesini gösterir. Görev döngüsü, sinyalin yüksek durumunu toplam periyodun yüzdesi olarak tanımlamak için kullanılır ve son olarak, darbe genişliği, sinyalin yüksek durumda olduğu süredir. Tipik bir PWM sinyali ve özellikleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Tipik Bir PWM Sinyali ve Özellikleri

DENEYİN YAPILIŞI

1. “GeneratingandReadingPWM.slx” dosyasını açın.



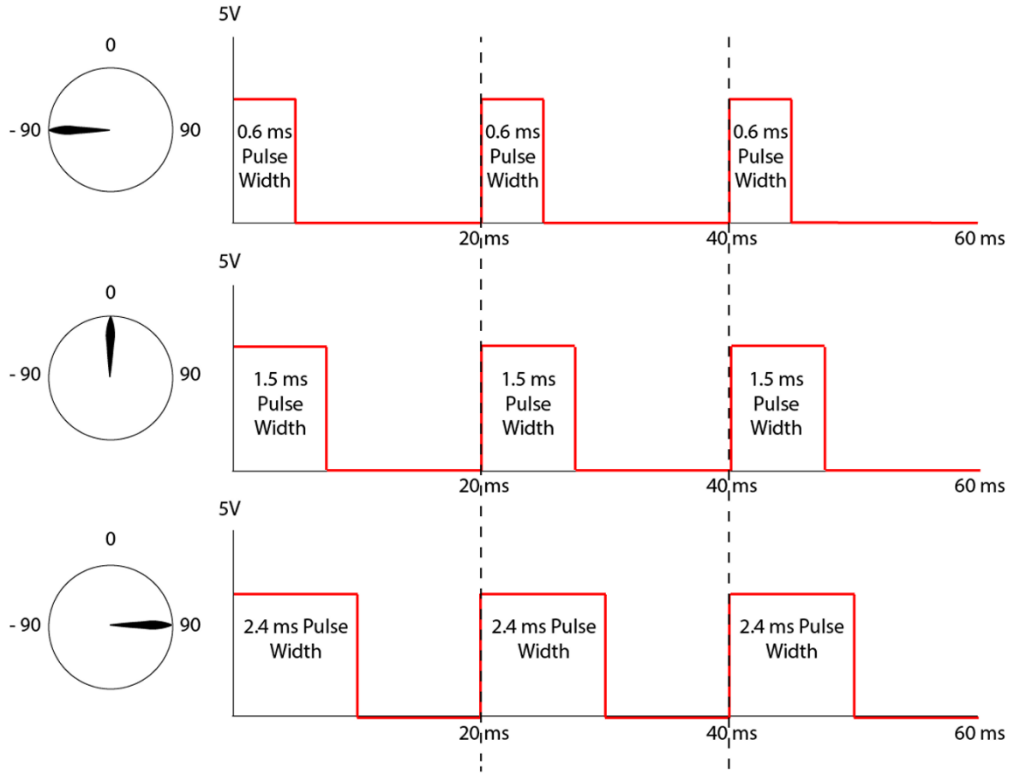
Şekil 8. PWM Örneği Blok Diyagramı

2. Darbe Genişliği kaydırıcı değerini %25 olarak ayarlayın.
3. Programı çalıştırın.
4. Read Signal ve Write Signal Scope üzerine çift tıklayın ve açın. Simüle edilmiş PWM'i gözlemleyin.
5. Darbe Genişliği kaydırıcı değerini %50, %75 ve %100 olarak değiştirin ve scope'lardan PWM sinyalini gözlemleyin.
6. Periyot kaydırıcı değerini 1s olarak ayarlayın.
7. Read Signal ve Write Signal Scope üzerine çift tıklayın ve açın. Simüle edilmiş PWM'i gözlemleyin.
8. Aynı Darbe Genişliği değerinde Periyot kaydırıcı değerini 3s ve 5s olarak değiştirin ve scope'lardaki değişikliği gözlemleyin.
9. Kaydırıcılardan ve scope'lardan elde edilen performansın tutarlılığını karşılaştırın.

2.2. PWM ile RC Servomotor Sürme

RC servomotorlar hem analog hem de dijital olabilir. Servomotor türü, servoları kontrol etmek için gereken sinyalin özelliklerini etkiler. Tüm analog servomotorların 20 ms periyoda sahip ortak benzer sinyalleri vardır, bu nedenle 50 Hz frekansına sahiptirler. Görev döngüsü bitiş zamanı veya Pulse Genişliği 600 ile 2400 μ s arasındadır. Pulse genişliği, servoların konumunu belirler. Genellikle; 600 μ s -90° pozisyonunu, 1500 μ s nötr veya 0° pozisyonunu ve 2400 μ s $+90^\circ$ pozisyonunu ifade eder. Bu zamanlardaki değişiklikler lineerdir, bu nedenle çeşitli pozisyonlar için istenen diğer zaman değerleri kolayca hesaplanabilir. Bu değerlerin diğer servolarla tam olarak eşleşmeyebileceği unutulmamalıdır. Pulse genişliği ile pozisyon arasındaki ilişki değişkenlik gösterebilir.

Genlik değişimi, servo kontrol devresinin konumu çözüp anladığı sürece servo kontrolünü çok etkilemez. Birçok mikrodenetleyicinin, servo entegre devreleri tarafından çözülebilecek 3,3V ile 5V arasında değişen çıkış voltaj seviyeleri vardır. Pozisyonla ilişkili olarak bir analog RC servomotorunu kontrol etmek için gereken PWM sinyalleri Şekil 9'da görülebilir.



Şekil 9. PWM Sinyali ve Servomotor Pozisyonu İlişkisi

2.3. Filtreleme

Genel olarak, ölçülen verilerde sinyal ve süreç gürültüleri bulunur. Sinyal gürültüleri, elektriksel parazitlerin karakteristik dinamiklerinden, örnekleme zamanındaki titremeden ve kuantalamadan kaynaklanır. Süreç gürültüleri ise çeşitli bozucu faktörlerden meydana gelir. Potansiyometre sensöründen konum bilgisi okunurken, gürültüler ölçülen veriyi bozabilir ve yüksek frekanslı ölçüm gürültüsü oluşabilir. Gerçek veri ile ölçülen veri arasındaki fark, hesaplama hatalarına ve sistemde hatalı davranışlara yol açar. Bu gürültüleri ortadan kaldırmak için ölçülen veriye harici bir filtre olarak bir alçak geçiren filtre uygulanır. Deneme yanılma yoluyla harici filtre olarak “15” kesim frekansı seçilmiştir. Bu filtrenin transfer fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir:

$$Filtre(s) = \frac{15}{s + 15}$$

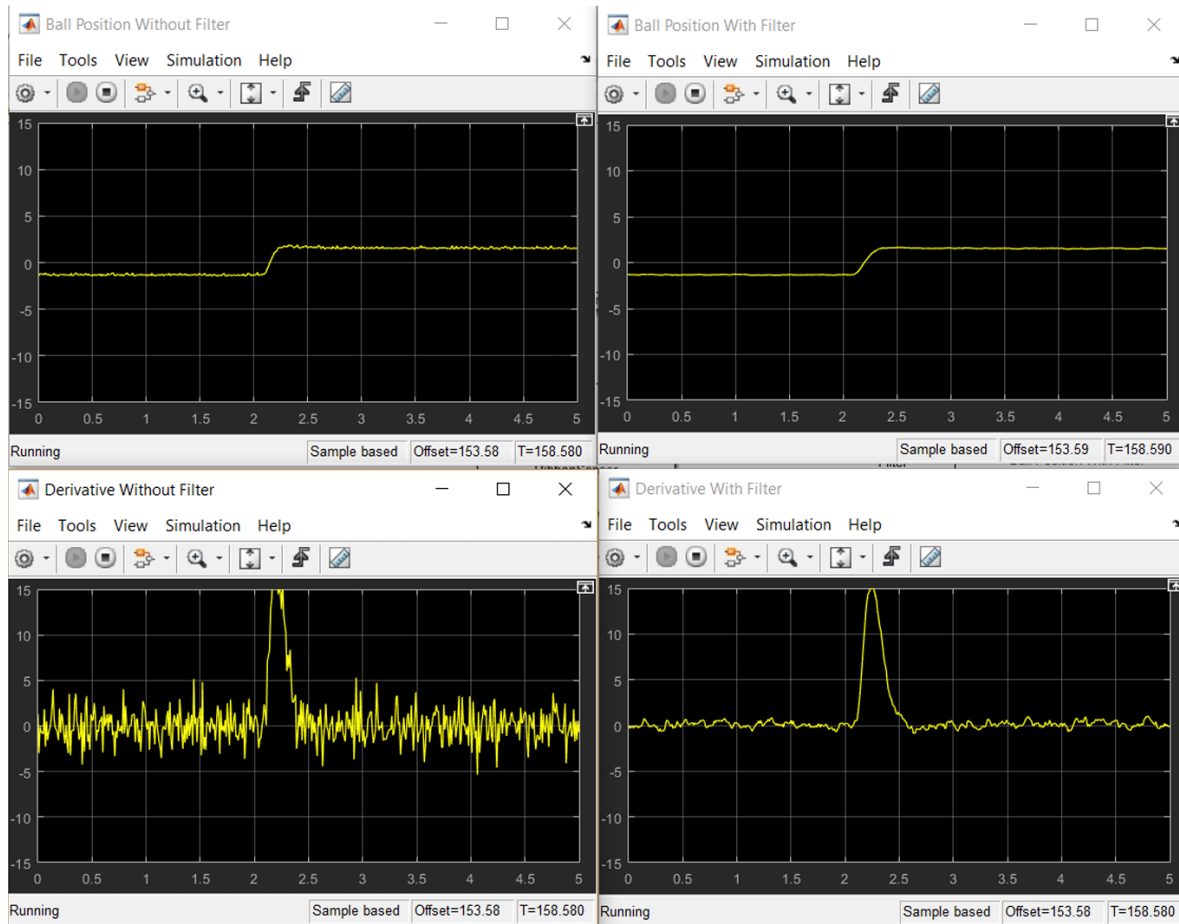
Ayrıca, döngü zamanı birkaç milisaniyenin katı olduğundan, ölçülen verilerdeki küçük değişiklikler bile döngü zamanına bölünür, bu nedenle bunların türevi yüksek bir değer alır ve bu da birçok dalgalanmaya neden olur. Bu nedenle, sistem cevabını yavaşlatmak ve dalgalanmaları azaltmak için dahili bir filtre kullanılmalıdır. PID

kontrolörde türev terimine dahili bir filtre olarak düşük geçiş filtresi uygulanır. Deneme yanılma yoluyla dahili filtre olarak “20” kesim frekansı seçilmiştir. Bu filtrenin transfer fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir:

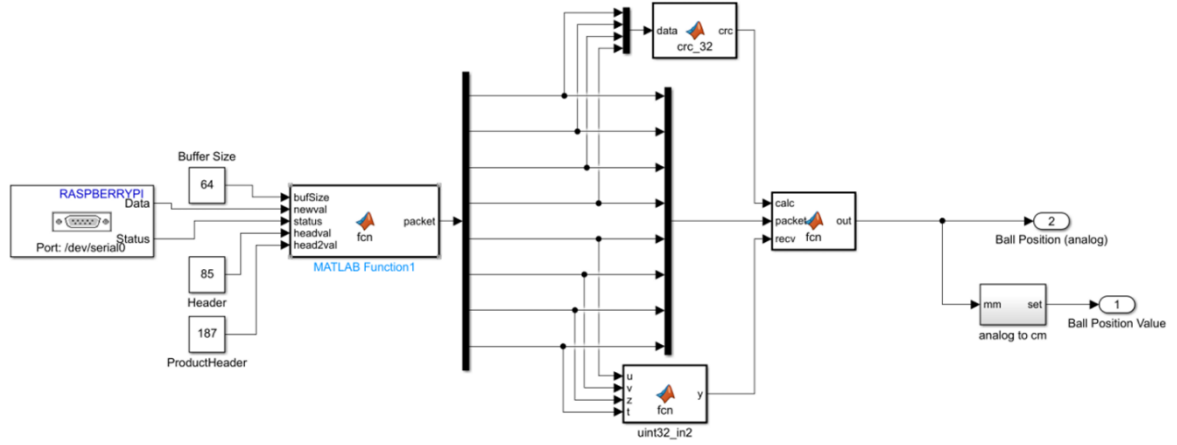
$$Türev\ Filtre(s) = \frac{20}{s + 20}$$

DENEYİN YAPILIŞI

1. “PotentiometerSensorandFiltering.slx” dosyasını açın.
2. Topu kirişin üzerine yerleştirin. Grafikteki veri noktalarının topun hareketlerine bağlı olarak değiştiğini fark edin. Bu, sistemden gelen konum geri bildirimidir.
3. Aşağıda gösterilen scope’ları ve blok diyagramını göreceksiniz:



Şekil 10. Bu deneye ait scope görüntüleri



Şekil 11. Bu deneye ait blok diyagramı

Filtre etkilerini gözlemlemek için kiriş üzerinde bir konum girişi olmalıdır. Topun gerçek zamanlı konumu osiloskoplarda görülebilir. Veri noktaları topun gerçek konumunu gösterir. Filtrenmemiş ve filtrenmiş türetilmiş konum verisi grafiklerine osiloskoplarda bakılabilir. Son olarak, filtre parametreleri Şekil 11’de görülebilir. Yukarıda belirtilen optimal değere önceden ayarlanmıştır.

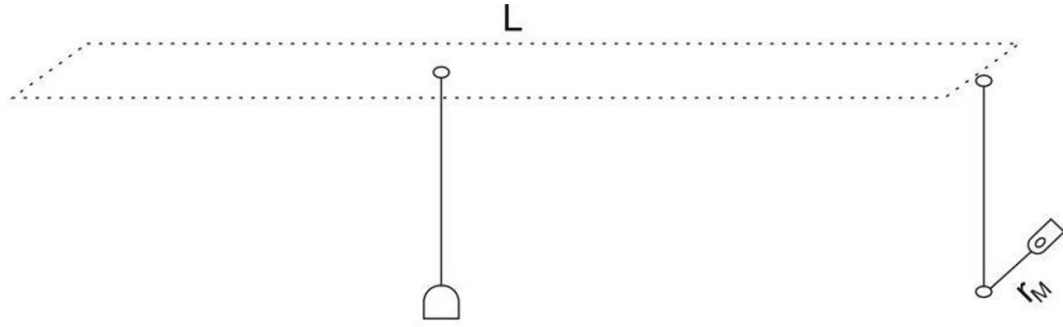
4. Grafiklere bakın. Gördüğünüz gibi, filtrenmemiş türetilmiş pozisyon verileri, herhangi bir hesaplama öncesinde elenmesi gereken daha fazla ani yükselme veya dalgalanma içeriyor. Filtrenmiş verilerin, istenilen veriye daha yakın olduğunu, ani yükselmeler ve dalgalanmaların azaldığını fark edin.

5. Filtrenin parametrelerini değiştirin. Farklı parametreler kullanıldığında filtre ve sistem gürültü, genlik ve faz açısından nasıl tepki verir?

6. Kontrol uygulamalarında filtre kullanmanın avantajlarını ve dezavantajlarını açıklayın.

3. SİSTEM MODELLEME

Top ve Kiriş’in fiziksel modeli Şekil 12’de gösterilmiştir. Fiziksel modele göre, servomotor kirişin ucundaki sistemin tabanına bağlanmıştır. Servomotor, her iki tarafında top mafsalları bulunan bir bağlantı ile kirişe bağlanır. Kiriş, bir serbestlik derecesine sahip dönel mafsıl üzerinden sistemin taban plakasına bağlanmıştır. Potansiyometre sensörü kirişe yapıştırılmıştır. Top, V şeklindeki alüminyum kirişteki potansiyometre sensörü üzerinde hareket eder. Tüm sistem ayrıca plexiglas taban üzerinde, kirişin ortasında ve ucunda monte edilmiştir. Top ve kiriş sisteminin matematiksel modelini elde etmek için kullanılan sistem parametreleri Tablo 1’de açıklanmıştır.

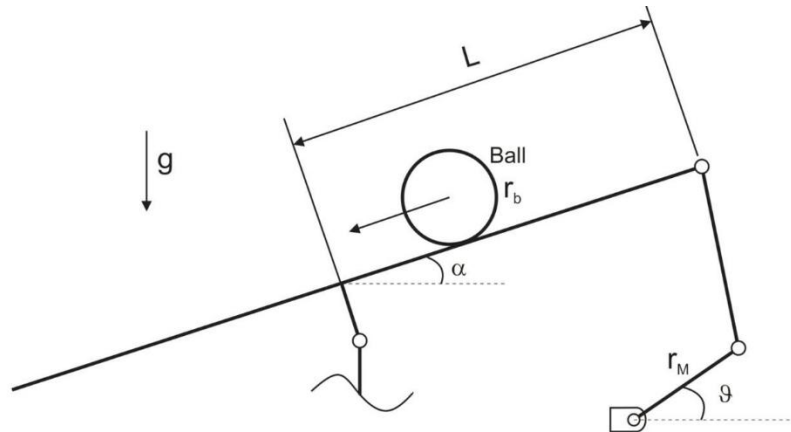


Şekil 12. Top ve Kiriş'in Fiziksel Modeli

Tablo 1. Top ve Kiriş Parametreleri

Sembol	Tanım	Değer	Birim
L	Kiriş uzunluğu	[0.5]	[m]
r_m	Motor kol uzunluğu	0.0245	[m]
r_b	Topun yarıçapı	0.0175	[m]
m_b	Topun kütlesi	0.175	[kg]
J_b	Topun dönme ataleti	0.00002143	[kg x m ²]
g	Yerçekimi ivmesi	9.81	[m/s ²]
α	Kiriş açısı	(Değişken)	[derece]
ϑ	Motor açısı	(Değişken)	[derece]

Sistemin modellenmesine başlamadan önce, aşağıdaki varsayımlar göz önünde bulundurulmalıdır: Top ve kiriş her durumda temas halindedir ve sistem modelini elde ederken top kiriş üzerinde kaymadan yuvarlanır (Şekil 13). Top ve Kiriş sistemine ait blok diyagramı Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 13. Serbest Cisim Diyagramı

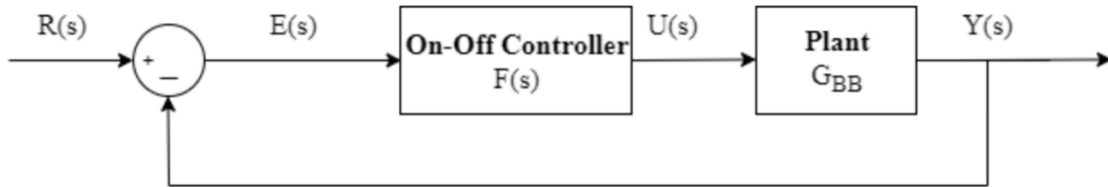


Şekil 16. Performans Ölçütleri için Blok Diyagramı

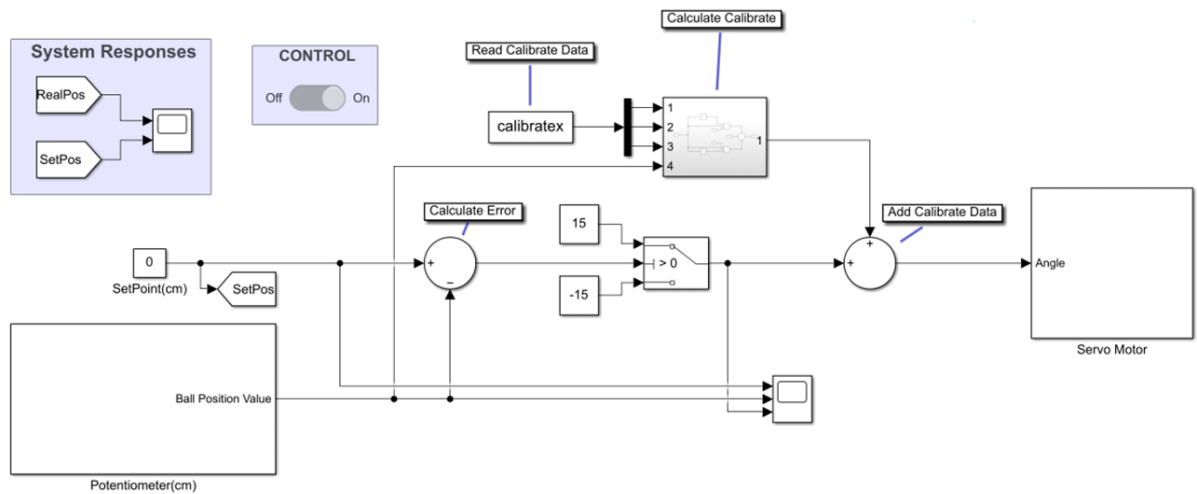
2. Programı çalıştırın. Kararsız (Unstable), Az Sönümlü (Underdamped), Kritik Sönümlü (Critically Damped) seçeneklerinden birini seçin ve Setpoint Switch'ten Step'e tıklayın.
3. Grafikten maksimum aşma, yerleşme zamanı, tepe zamanı ve sürekli durum hatasını hesaplayın. Sonuçları Tablo 2'ye kaydedin.
4. Sistem girişini ve çıkışını grafikte gözlemleyin ve performans ölçütlerini belirleyin.
5. Setpoint Switch'ten Home'a tıklayın ve farklı bir seçenek seçin. Ardından Step'e tıklayın ve performans ölçütlerindeki değişiklikleri gözlemleyin. Bulduğunuz sonuçlarla Tablo 2'yi doldurun.

Tablo 2. Top ve Kiriş Sistemi Performans Ölçütleri

Sistem Davranışı	Maksimum Aşma (M_p)	Yerleşme Süresi (t_s)	Tepe Zamanı (t_p)	Sürekli Durum Hatası (e_{ss})

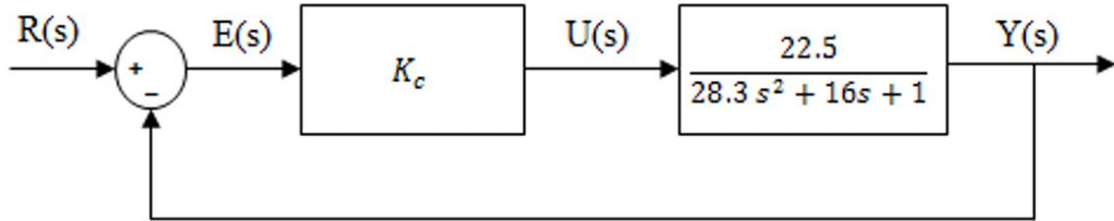
B. ON/OFF KONTROL**Şekil 17.** Top ve Kiriş için On/Off Kontrolör Blok Diyagramı

1. "OnOff_control.slx" dosyasını açın.

**Şekil 18.** On/Off Kontrolör için Blok Diyagramı

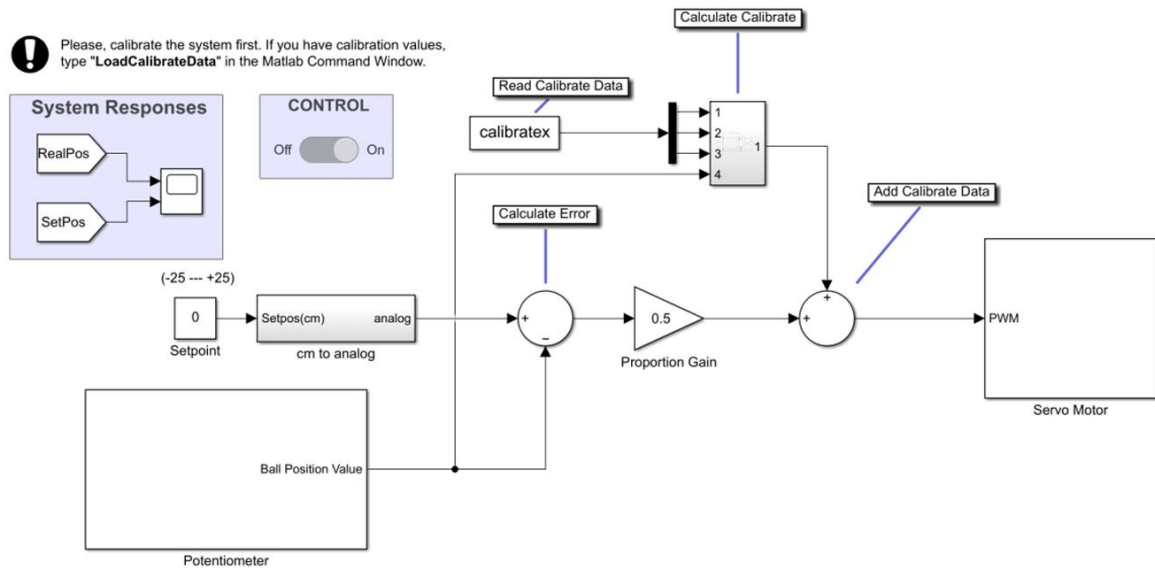
2. Programı çalıştırın. Scope'u açmak için çift tıklayın.
3. Gerçek sistem cevabını gözlemleyin.

C. P KONTROLÖR



Şekil 19. P Kontrolör ile Denetlenen Sistemin Blok Diyagramı

1. "P_Controller.slx" dosyasını açın.



Şekil 20. P Kontrolör için Blok Diyagramı

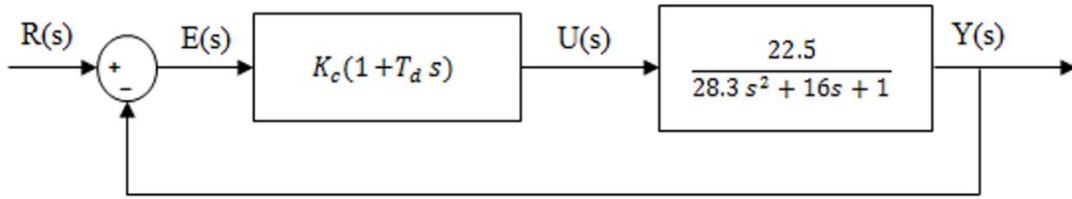
2. Programı çalıştırın. Scope'u açmak için çift tıklayın.
3. Gerçek sistem cevabını gözlemleyin.

Şekil 19'da gösterilen blok diyagram için aşağıdaki soruları cevaplayın.

1. Kontrolör olmadan açık çevrim sisteminin mertebesini belirleyin.
2. Sistemin P kontrolörü ile kapalı çevrim transfer fonksiyonunu bulun.
3. Kapalı çevrim sisteminin karakteristik polinomunu elde edin.
4. Kapalı çevrim sisteminin mertebesi nedir? Değişir mi?

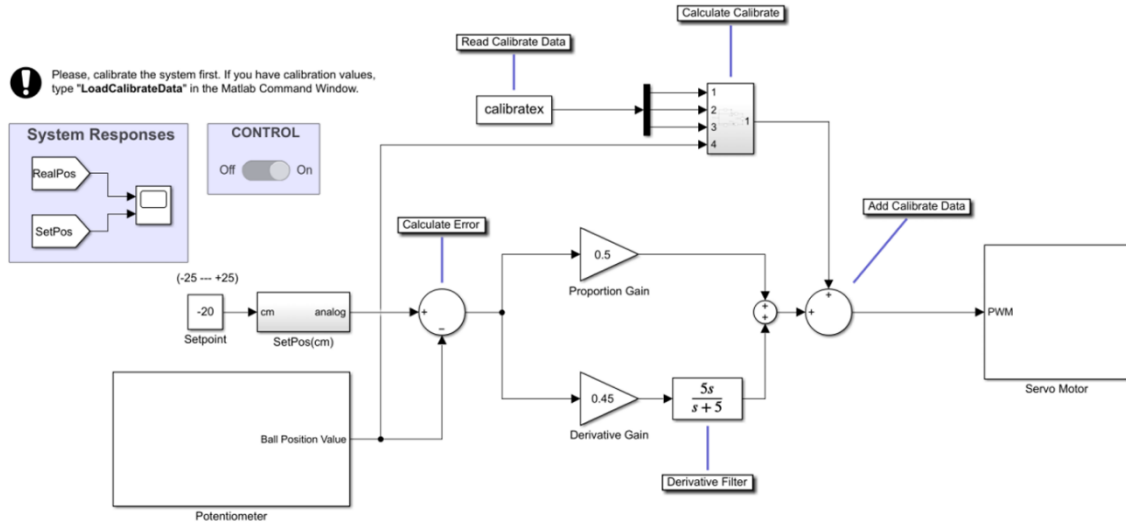
5. Sistemin Kök-Yer eğrisini çizin. Birim basamak uygulanırsa kapalı çevrim sistemin tepkisinin ne olmasını beklersiniz?
6. Kapalı çevrim sistem kararlı mı? Değilse, kararlı olabilir mi?
7. Kontrolünüzü gerçek sisteme ve simülasyona uygulayın. “PController.slx” dosyasını açın ve programı çalıştırın.

D. PD KONTROLÖR



Şekil 21. P Kontrolör ile Denetlenen Sistemin Blok Diyagramı

1. “PD_Controller.slx” dosyasını açın.



Şekil 22. PD Kontrolör için Blok Diyagramı

2. Programı çalıştırın. Scope’u açmak için çift tıklayın.
3. Gerçek sistem cevabını gözlemleyin.

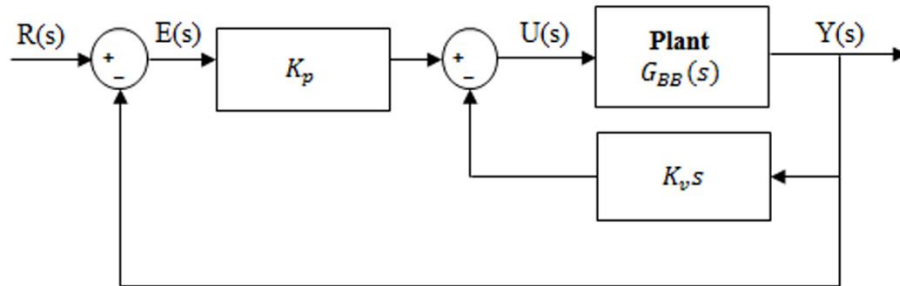
Şekil 21’de gösterilen blok diyagram için aşağıdaki soruları cevaplayın.

1. Açık döngü transfer fonksiyonunun derecesini belirleyin.
2. PD kontrolörü ile sistemin kapalı döngü transfer fonksiyonunu bulun.
3. Kapalı döngü sisteminin karakteristik polinomunu elde edin.

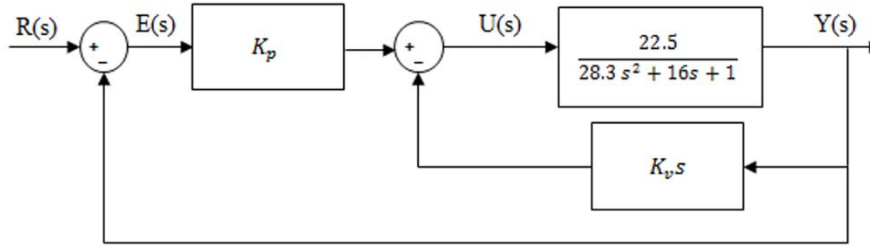
4. Performans ölçülerini belirleyin ve ξ ve ω_n değerlerini hesaplayın ($M_p \leq \%10$ ve $t_s \leq 5$ saniye seçin).
5. 4. Adımın yardımıyla istenen karakteristik denklemi elde edin (PD kontrolörü için artık polinomu gerekli hale gelir mi?).
6. 3. Adımda ve 5. Adımda hesaplanan polinomları eşitleyin ve kontrolör parametrelerini bulun.
7. Kontrolörden sonra sistemin derecesi nedir? Değişiyor mu?
8. Tasarlanan PD kontrolörü ile adım yanıtını “PDControl.slx” üzerinden çizin. Kapalı devre sistemi kararlı mı?
9. Kararlı durum hatasının değeri nedir?
10. Tasarlanan kontrolör parametrelerini simülasyon ve gerçek zamanlı sisteme uygulayın. “PDControl.slx” üzerinden simülasyon ve gerçek sistem yanıtları arasındaki farkları tartışın. Bunlar uyumlu mu?

E. PV KONTROLÖR

PV denetleyici, en popüler servo pozisyon denetleyicilerinden biridir. PD denetleyicinin aksine, PV denetleyici sisteme sıfır ve kutup eklemmez. Sadece sistemin kök yerini değiştirir. Başka bir deyişle, kapalı döngü sistemine ait kutuplar PV denetleyici tarafından kök yer eğrisinde daha kararlı bir bölgeye taşınır. Ayrıca, PV denetleyici türevsel darbeleri önler çünkü türev terimi geri besleme yolundadır. Çoğu zaman, P tipi denetleyici istenen performans ölçütlerini karşılamak için yeterli değildir; bu nedenle denetleyiciye bir türev terimi eklenir. Blok diyagramları Şekil 23 ve 24’te gösterilmiştir.

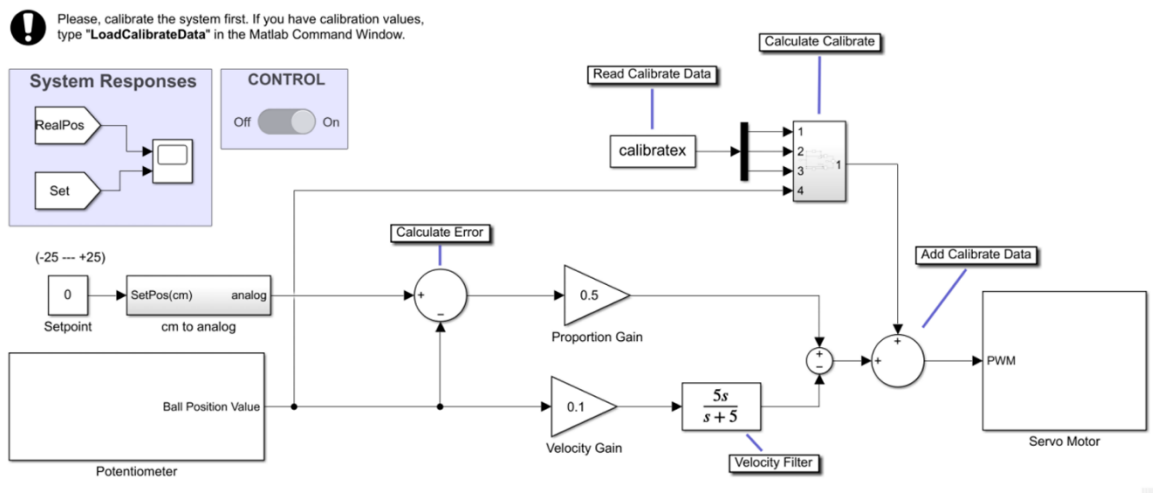


Şekil 23. PV Kontrolörün Genel Blok Diyagramı



Şekil 24. Top ve Kiriş Sisteminin PV Kontrolör ile Kontrolünün Blok Diyagramı

1. “PV_Controller.slx” dosyasını açın.



Şekil 25. PV Kontrolör için Blok Diyagramı

2. Programı çalıştırın. Scope’u açmak için çift tıklayın.

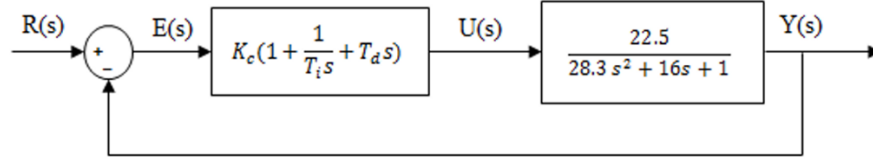
3. Gerçek sistem cevabını gözlemleyin.

Şekil 24’te gösterilen blok diyagram için aşağıdaki soruları yanıtlayın.

1. Açık çevrim transfer fonksiyonunun mertebesini belirleyin.
2. PV kontrolörlü sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonunu bulun.
3. Kapalı çevrim sisteminin karakteristik denklemini elde edin.
4. Performans ölçütlerini belirleyin ve ξ ve ω_n değerlerini hesaplayın ($M_p \leq \%10$ ve $t_s \leq 5$ saniye olacak şekilde seçin).
5. Adım 4 yardımıyla istenen karakteristik denklemi elde edin (artık polinomu PV kontrolörü için gerekli olur mu?).
6. Adım 3 ve Adım 5’te hesaplanan polinomları eşitleyin ve kontrolör parametrelerini bulun.
7. Tasarlanan PV kontrolör ile basamak cevabını “PVControl.slx” üzerinden çizin. Kapalı çevrim sistemi kararlı mı?

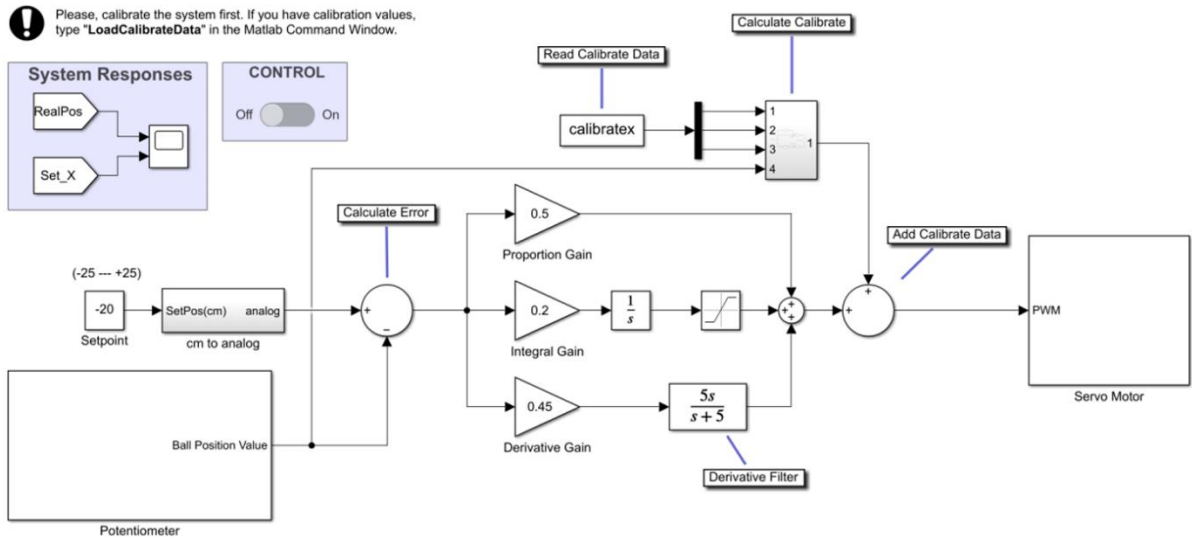
8. PD kontrolöre göre ne değişir?
9. Sürekli durum hatası değeri nedir?
10. Tasarlanan kontrolör parametrelerini simülasyon ve gerçek zamanlı sisteme “PVControl.slx” ile uygulayın. Simülasyon ve gerçek sistemin yanıtlarındaki farkları tartışın. Tutarlılar mı?

F. PID KONTROLÖR



Şekil 26. Top ve Kiriş Sisteminin PV Kontrolör ile Kontrolünün Blok Diyagramı

1. “PID_Controller.slx” dosyasını açın.



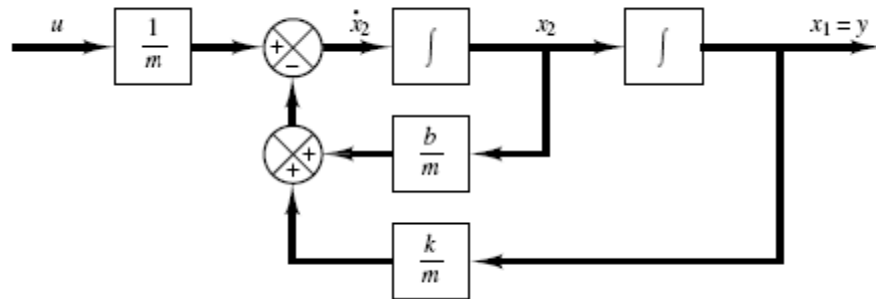
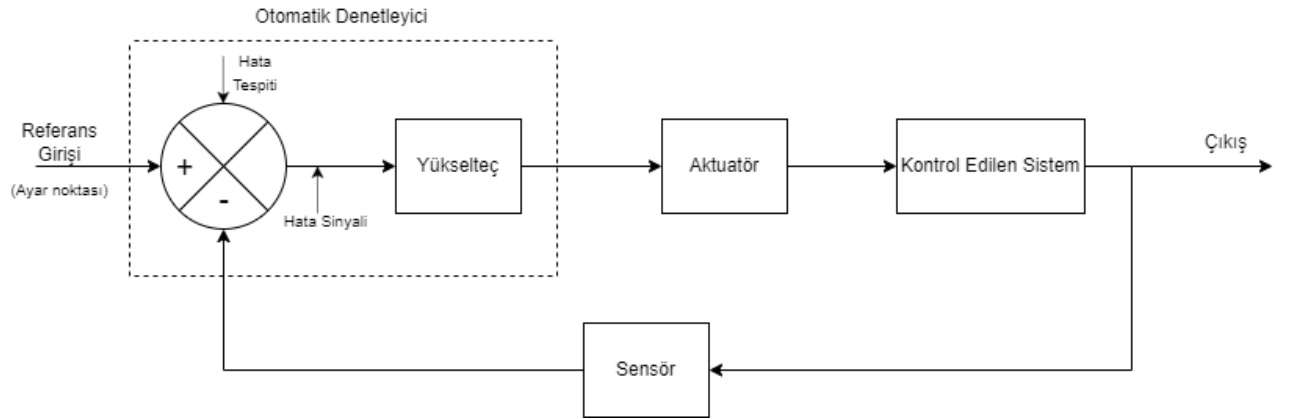
Şekil 27. PID Kontrolör için Blok Diyagramı

2. Programı çalıştırın. Scope’u açmak için çift tıklayın.
3. Gerçek sistem cevabını gözlemleyin.

Şekil 26’da gösterilen blok diyagram için aşağıdaki soruları yanıtlayın.

1. Açık çevrim transfer fonksiyonunun mertebesini belirleyin.
2. PID kontrolörlü sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonunu bulun.
3. Kapalı çevrim sisteminin karakteristik denklemini elde edin.
4. Performans ölçütlerini belirleyin ve ξ ve ω_n değerlerini hesaplayın ($M_p \leq \%20$ ve $t_s \leq 5$ saniye olacak şekilde seçin).

5. Adım 4 yardımıyla istenen karakteristik denklemi ve artık polinomu elde edin.
6. Adım 3 ve Adım 5'te hesaplanan polinomları eşitleyin ve kontrolör parametrelerini bulun.
7. Kontrolörden sonra sistemin derecesi nedir? Değişti mi?
8. Tasarlanan PID kontrolör ile basamak cevabını “PIDControl.slx” üzerinden çizin. Kapalı çevrim sistemi kararlı mı?
9. Sürekli durum hatası değeri nedir?
10. Tasarlanan kontrolör parametrelerini simülasyon ve gerçek zamanlı sisteme “PIDControl.slx” ile uygulayın. Simülasyon ve gerçek sistemin yanıtlarındaki farkları tartışın. Tutarlılar mı?

OTOMATİK KONTROL LABORATUVARI**6. DENEY****MATLAB DENEYLERİ**

6.1. DENEY (MATLAB)

1) GİRİŞ

Yazılımsal deneylerin ana amacı bilgisayar destekli kontrol sistemlerinin analizi ve tasarımını tanıtmaktır. Bu amaç doğrultusunda MATLAB kullanılacaktır. Bu deneyde, transfer fonksiyonuyla tanımlanan sürekli zamanlı doğrusal zamanla değişmeyen sistemler için sıklıkla kullanılan MATLAB komutlarıyla pratik yapılacaktır.

2) DENEYİN YAPILIŞI

a) MATLAB ile Kısmi Kesir Açılımı

Transfer fonksiyonu Denklem 1.1'deki gibi verilen bir sistemin;

$$G(s) = \frac{2s^3 + 3s^2 + 5s + 2}{s^3 + 6s^2 + 11s + 6} \quad (1.1)$$

Basit kesirler formunda yazmak için katsayılarını `[r,p,k]=residue(num,den)` komutuyla bulunuz.

b) G(s)'in Kutuplarının ve Sıfırlarının Bulunması

Transfer fonksiyonu Denklem 1.2'deki gibi verilen bir sistemin;

$$G(s) = \frac{4s^2 + 16s + 12}{s^4 + 16s^3 + 35s^2 + 48s} \quad (1.2)$$

Kutuplarını ve sıfırlarını bulmak için `[z,p,k]=tf2zp(num,den)` komutunu çalıştırınız.

c) Transfer Fonksiyonu Oluşturma

Bir transfer fonksiyonunun sıfırları -2 ve -5 ve kutupları 0, -1,-7 ve -3 olsun. Kazanç K=4 olarak verilmiştir. Aşağıdaki komutları kullanarak sistemin transfer fonksiyonunu bulunuz.

```
>> [num,den]=zp2tf(z,p,k);
>> printsys(num, den, 's')
```

d) Doğrusal Modeller Oluşturma

Sembolik Matematik Toolboxlar, MATLAB'ın sayısal ortamına sembolik hesaplamayı dahil etmektedir. Bu toolboxlar, MATLAB sayısal ve grafiksel olanaklarını diğer birçok

matematiksel hesaplama türüyle tamamlamaktadır. Türev, integral vb. içeren kalkülüsü; tersler, determinantlar, özdeğerler vb. içeren lineer cebiri; cebirsel ifadeleri basitleştirme yöntemlerinden oluşan basitleştirmeleri; Fourier, Laplace, z-dönüşümü ve ilgili ters dönüşümlerden oluşan dönüşümleri kapsamaktadır.

- İlk olarak, bazı sembolik değişkenleri tanımlayınız.

```
>> sysms s t a b
```

(*s'nin bir laplace operatörü, t'nin bir zaman değişkeni ve a ve b'nin herhangi bir tam sayı olduğunu varsayınız*)

- Daha sonra Denklem 1.3'teki gibi bir polinom tanımlayınız.

$$f = a.s^2 + 5.s + b \quad (1.3)$$

f değerini bulmak için yukarıda tanımlanan polinomda $a=2$, $s=1$ ve $b=3$ yerine yazınız. (*subs komutu kullanılacaktır*)

- Aşağıdaki fonksiyonların Laplace dönüşümlerini hesaplayınız (*laplace komutunu kullanınız*)

$$f_1(t) = t^5, \quad f_2(t) = \frac{1}{\sqrt{t}}, \quad f_3(t) = e^{-at}$$

- Aşağıdaki fonksiyonların Ters Laplace dönüşümlerini hesaplayınız (*ilaplace komutunu kullanınız*)

$$F_4(s) = \frac{b}{s^2}, \quad F_5(s) = \frac{1}{(s-a)^2}, \quad F_6(s) = \frac{a}{s^2 - b^2}$$

e) Çizim Grafikleri

Bir sistemin Birim Basamak cevabı çizilecektir. Sistemin transfer fonksiyonu Denklem 1.4'teki gibi olsun.

$$G(s) = \frac{25}{s^2 + 4s + 25} \quad (1.4)$$

Sistemin 0 ile 3 saniye arasındaki sürelerdeki 0.1 saniyelik artışlarla birim basamak cevabını aşağıdaki komutları kullanarak hesaplayınız

```
>> t=0:0.1:3;
```

```
>> y=step(num,den,t);
```

Sistemin birim basamak cevabını plot komutunu kullanarak çiziniz. Ardından; başlık, x-ekseni ve y-ekseni etiketlerini çizime ekleyiniz.

```
>>Plot(t,y)
>>title('G(s)'in Birim Basamak Cevabı')
>>xlabel('zaman(s)')
>>ylabel('Genlik')
```

Not: Yukarıdaki komutlar hakkında daha ayrıntılı bilgi almak için komut satırına "help komut_adı" yazabilirsiniz. *Örnek:* help Plot

6.2. DENEY (MATLAB)

1) GİRİŞ

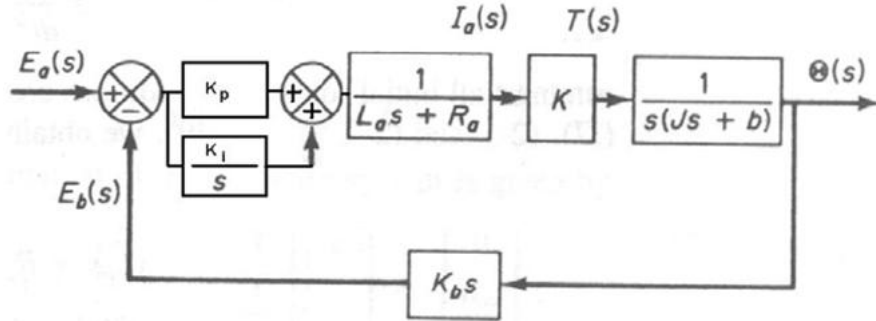
Yazılımsal deneylerin ana amacı bilgisayar destekli kontrol sistemlerinin analizi ve tasarımını tanıtmaktır. Bu amaç doğrultusunda MATLAB kullanılacaktır. Bu deneyde, transfer fonksiyonuyla tanımlanan sürekli zamanlı doğrusal zamanla değişmeyen sistemler için sıklıkla kullanılan MATLAB komutlarıyla pratik yapılacaktır.

2) DENEYİN YAPILIŞI

a) MATLAB Kullanarak Blok Diyagramı İndirgeme

Şekil 2.1'deki bir kontrol sisteminin blok diyagramını göz önünde bulundurunuz.

i) Blok diyagramını indirgemek ve kapalı döngü transfer fonksiyonunu hesaplamak için MATLAB kullanınız (*MATLAB'da series, parallel ve/veya feedback komutlarını kullanınız*). Laboratuvara gelmeden önce kapalı döngü transfer fonksiyonunu elle hesaplayınız. Hesapladığınız sonuçları MATLAB ile elde ettiğiniz transfer fonksiyonuyla karşılaştırınız.



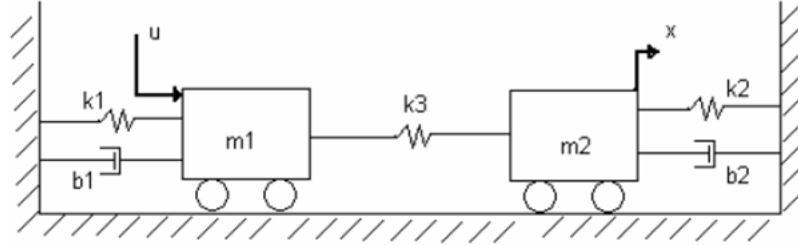
Şekil 2.1 Blok diyagram

Blok Diyagram Parametreleri:

- $K_p = 1$
- $K_i = 0.5$
- $L_a = 0.5 \text{ mH}$
- $R_a = 1 \Omega$
- $K = 2$
- $J = 0.02$
- $b = 1$
- $K_b = 1$

b) Dinamik Sistemlerin Matematiksel Modellenmesi

Laboratuvara gelmeden önce Şekil 2.2’de verilen mekanik sistemin $X(s)/U(s)$ transfer fonksiyonunu bulunuz.



Şekil 2.2 Mekanik bir sistem

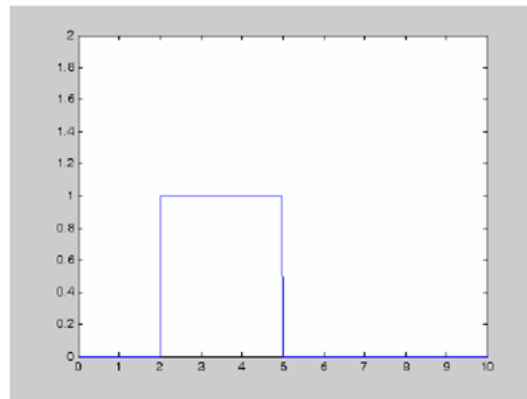
Bu deneyde $k1$, $k2$, $k3$, $b1$, $b2$, $m1$ ve $m2$ değerlerini kendiniz belirleyip sistemin birim basamak cevabının grafiğini çizdiriniz.

c) Dinamik Cevap

Bir DC motorun kapalı çevrim transfer fonksiyonu Denklem 2.1’de verilmiştir.

$$G(s) = \frac{25}{s^2 + 4s + 25} \quad (2.1)$$

Sistemin cevabını Şekil 2.3’te verilen girişe göre hesaplayıp grafiğini çizdiriniz.

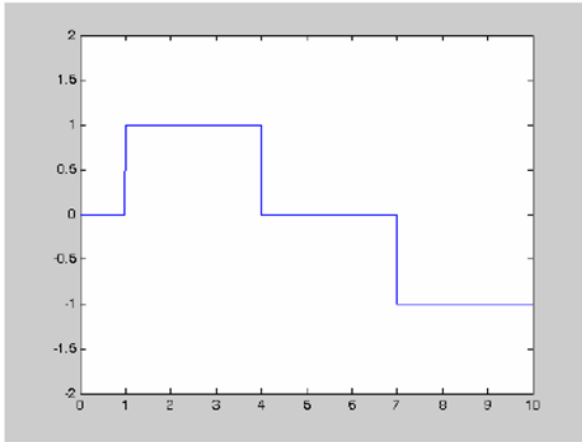


Şekil 2.3. Sistem girişi

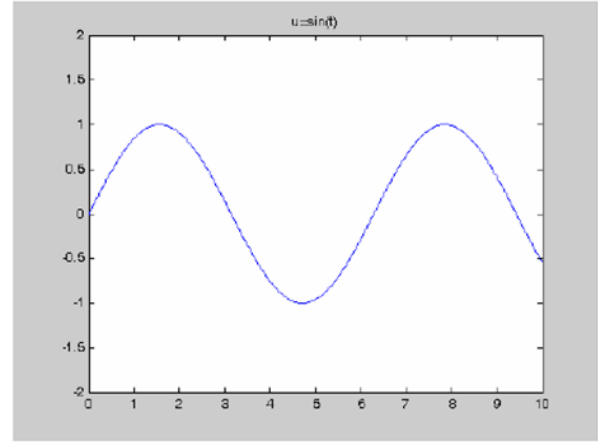
MATLAB komutları aşağıda verilmiştir:

```
>> t=0:0.01:10;
>> u=[zeros(1,200) ones(1,300) zeros(1,501)];
>> y=lsim(sys,u,t);
>> plot(t,u) %sistemin girişini çizer
>> hold on
>> plot(t,y) %sistemin çıkışını çizer
```

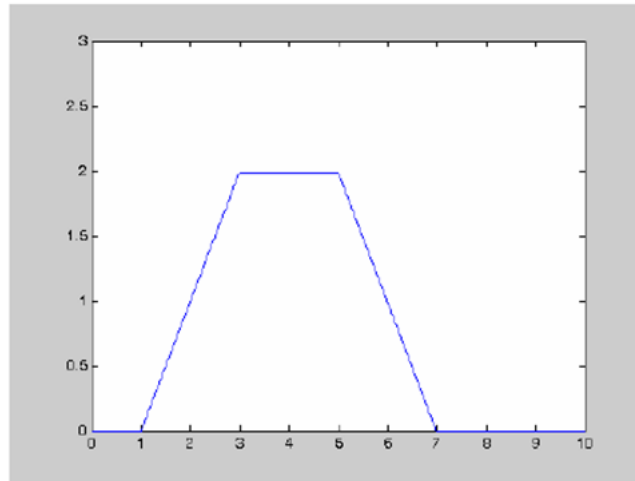
Şekil 2.4-2.6'da verilen girişlere göre sistemin cevabını hesaplayınız ve grafiğini çizdiriniz.



Şekil 2.4. Sistem girişi



Şekil 2.5. Sistem girişi



Şekil 2.6. Sistem girişi

Not: Yukarıdaki komutlar hakkında daha ayrıntılı bilgi almak için komut satırına "help komut_adı" yazabilirsiniz. *Örnek:* help lsim

6.3. DENEY (MATLAB)

1) GİRİŞ

Bu deneyin temel amacı, sistemlerin durum uzayı modeli için bilgisayar destekli kontrol sistemi analizi ve tasarımı tanıtmaktır. Bu doğrultuda MATLAB programı kullanılacaktır.

2) DENEYE HAZIRLIK

- Aşağıdaki "c) Durum Değişkenli Bir Modelin Geçici Cevabının Çizilmesi" bölümünde verilen sistemin çıkışını zamanın fonksiyonu olarak hesaplayınız. 2. saniyedeki y çıkışını bulunuz. Hesaplamalarınızı ayrıntılı olarak bir kağıda yazınız.
- Aşağıdaki "d) Durum Değişkeni Modeli Tasarlama" bölümünde verilen sistemin durum uzayı modelini elde ediniz. Hesaplamalarınızı ayrıntılı olarak bir kağıda yazınız.

Anlayamadığınız bir şey olursa öğretim elemanına sorunuz.

3) DENEYİN YAPILIŞI

a) Dönüşümler

- Aşağıda verilen transfer fonksiyonlarını durum değişkeni gösterimiyle belirleyiniz. (*tf2ss komutu kullanılacaktır*)

$$\text{i. } G_1(s) = \frac{1}{s+10} \quad \text{ii. } G_2(s) = \frac{3s^2+10s+1}{s^2+8s+5} \quad \text{iii. } G_3(s) = \frac{s+14}{s^3+3s^2+3s+1}$$

- Aşağıda durum denklemleri verilen modelleri transfer fonksiyonu gösterimiyle belirleyiniz. (*ss2tf komutu kullanılacaktır*)

$$\text{i. } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0]$$

$$\text{ii. } A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 4 \\ 6 & 2 & 10 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 1 \quad 0], \quad D = [1 \quad 0]$$

$$\text{iii. } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(İpucu: Sistemin çok girişi varsa, *ss2tf* komutunun *IU* parametrelerini belirleyiniz. Daha fazla bilgi için MATLAB'da komut satırına "*help ss2tf*" yazın.)

b) Kutupları ve Sıfırları Bulmak

- Yukarıda durum denklemleri verilen modellerin kutuplarını ve sıfırlarını belirleyiniz.

c) Durum Değişkenli Bir Modelin Geçici Cevabının Çizilmesi

- Aşağıda verilen sisteme göre;

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

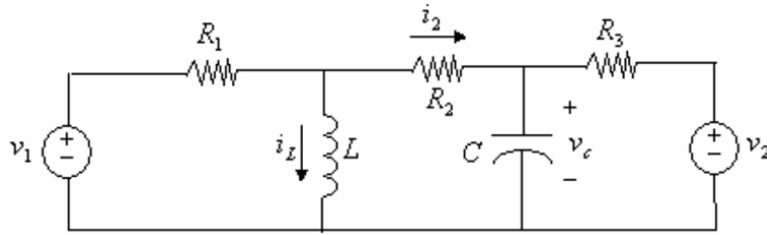
$$y = [0 \quad 1]x$$

$x(0) = [1 \quad 0]^T$ ve giriş $u(t) = 1$ olarak kabul ediniz. *lsim* komutunu kullanarak $x_1(t)$, $x_2(t)$ durumlarını ve sistemin çıkışı $y(t)$ 'yi, 0.1 saniye artırarak $0 \leq t \leq 10$ aralığında elde ediniz ve grafiklerini çizdiriniz.

Grafikler farklı şekillerde olmalıdır. (*subplot* komutunu kullanınız)
Şekillere xlabel, ylabel ve başlık ekleyiniz.

d) Durum Değişkenli Model Tasarlama

- Şekil 3.1'de verilen devreye göre iki giriş (v_1 ve v_2) ve tek çıkış (i_2) için durum uzay modelini (A, B, C ve D matrisleri) elde ediniz. Durum denklemleri $x_1 = i_L$ ve $x_2 = v_c$.



Şekil 3.1. Devre şeması

- $R_1 = R_2 = 1\Omega$, $R_3 = 10\Omega$, $C = 0.5F$ ve $L = 0.1H$ olarak kabul ediniz. Transfer fonksiyonu gösterimini belirleyiniz. (*ss2tf* komutu kullanılacaktır)
- Sistemin kutuplarını ve sıfırlarını bulunuz.
- $x(0) = [0 \quad 1]^T$ ve tüm t 'ler için giriş $u(t) = [1 \quad 0]^T$ kabul ediniz. *lsim* komutunu kullanarak sistemin $x_1(t)$, $x_2(t)$ durumlarını ve sistemin çıkışı $y(t)$ 'yi, saniyeyi 0.1 artırarak $0 \leq t \leq 5$ aralığında bulunuz ve grafiğini çizdiriniz.

Grafikler farklı şekillerde olmalıdır. (*subplot* komutunu kullanınız)
Şekillere xlabel, ylabel ve başlık ekleyiniz.

6.4. DENEY (MATLAB)

1) GİRİŞ

Birçok tasarım kriteri, bu tür sinyallere verilen yanıtı veya sistemlerin başlangıç koşullarındaki değişikliklere (herhangi bir test sinyali olmadan) verdiği yanıtı dayanmaktadır. Bir kontrol sisteminin zaman cevabı, geçici durum cevabı ve sürekli cevap olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Geçici durum cevabı, ilk durumdan son duruma giden cevaptır. Sürekli durum cevabı ise t sonsuza yaklaştıkça sistem çıkışının nasıl davrandığıdır.

Bu deneyde, MATLAB kullanarak geçici ve sürekli durum cevap analizi hakkında pratik yapılacaktır.

2) HAZIRLIK

3(a)'da verilen sistem için yüzde maksimum aşma, yerleşme zamanı ve sürekli durum hatasını elle hesaplayıp kağıda yazarak laboratuvara getiriniz.

3) DENEYİN YAPILIŞI

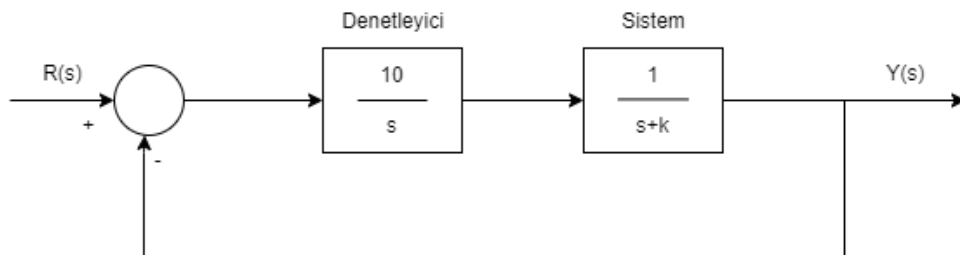
a) Bir sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonu Denklem 4.1'de verilmiştir:

$$T(s) = \frac{10K}{s^2 + 20s + K} \quad (4.1)$$

$K=1, 10$ ve 100 için basamak cevaplarını elde ediniz. Cevapları birlikte çizin ve maksimum aşma yüzdesi, yerleşme süresi ve sürekli durum hatasını içeren bir sonuç tablosu oluşturunuz.

b) Şekil 4.1'de gösterilen kapalı çevrim kontrol sistemini ele alınız. Birim basamak girişine göre aşım yüzdesinin %1'den büyük ancak %10'dan küçük olması için k değerinin bulunmasına yardımcı olacak bir MATLAB programı geliştiriniz. Program kapalı çevrim transfer fonksiyonu $T(s)=Y(s)/R(s)$ 'yi hesaplamalı ve basamak cevabını oluşturmalıdır. Birim basamak girişine karşı sürekli durum hatasının sıfır olduğunu grafiksel olarak doğrulayınız.

(*İpucu: for döngülerini kullanın.*)

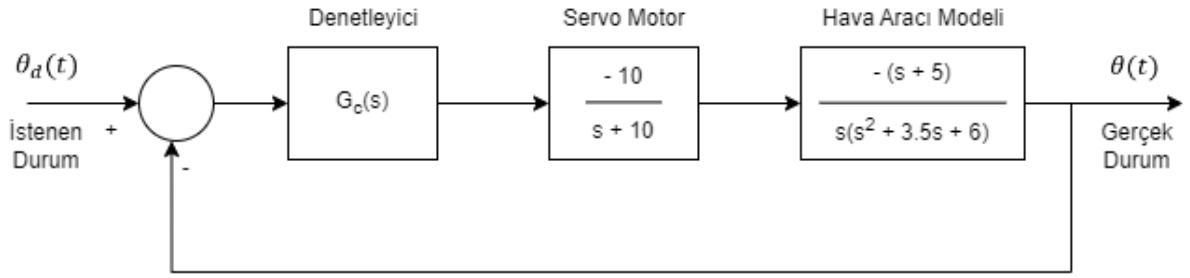


Şekil 4.1. Bir kapalı çevrim kontrol sistemi

- c) Bir hava aracını düz ve aynı seviyede tutmak için tasarlanmış bir otopilot Şekil 4.2’de gösterilmiştir.
- i) $G_c(s)$ ’in sabit kazançlı bir denetleyici olduğunu varsayınız. *lsim* komutunu kullanarak, $a = 0.5^\circ/s$ olarak $\theta_d(t) = at$ için rampa cevabını hesaplayın ve grafiğini çizdiriniz. 10 saniye sonraki hatayı belirleyiniz.
- ii) Denetleyicinin karmaşıklığı artırılırsa, sürekli durum hatası azaltılabilir. Bu hedef göz önünde bulundurularak, sabit kazanç denetleyicisinin Denklem 4.2’deki gibi daha karmaşık bir denetleyiciyle değiştirildiğini varsayınız.

$$G_c(s) = K_1 + \frac{K_2}{s} = 2 + \frac{1}{s} \quad (4.2)$$

Bu tür bir denetleyici oransal, integral (PI) denetleyici olarak bilinmektedir. a şikkındaki işlemleri PI denetleyici ile tekrarlayınız ve sabit kazançlı denetleyici ile PI denetleyicinin sürekli durum izleme hatalarını karşılaştırınız.



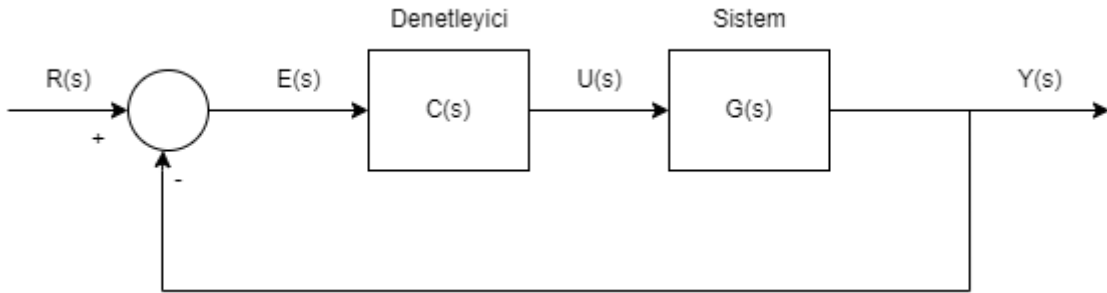
Şekil 4.2. Bir otopilot sisteminin blok diyagramı

6.5. DENEY (MATLAB)

1) GİRİŞ

PID denetleyiciler endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu denetleyiciler bir kontrol sistemi tepkisinin iyileştirilmesi için gereklidir. Bir PID denetleyici üç çeşit kontrol formundan oluşur ve her biri, sistemin bazı tepki özelliklerini daha iyi hale getirirken bazılarını daha kötü hale getirmektedir. Bu deneyde, her bir kontrol formunun sistem yanıtı üzerindeki etkileri incelenecektir.

Genellikle birim geribeslemeli kontrol sistemi Şekil 5.1'deki gibidir.



Şekil 5.1. Birim geribeslemeli kontrol sistemi

PID denetleyicinin transfer fonksiyonu ise Denklem 5.1'de gösterilmektedir.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (5.1)$$

2) DENEYE HAZIRLIK

Laboratuvara gelmeden önce, P, PI, PD ve PID denetleyicilerin bir sistem cevabının özellikleri üzerindeki etkileri hakkında bilgi edininiz. İdeal bir sistem cevabına ulaşmak için, sistem karakteristikleri (yükselme zamanı, maksimum aşma, yerleşme zamanı ve sürekli durum hatası) ne olmalıdır? Bu sorunun cevabını bir kağıda yazarak laboratuvara getiriniz.

3) DENEYİN YAPILIŞI

İkinci dereceden bir sistemin transfer fonksiyonu Denklem 5.2'de verilmiştir.

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 10s + 20} \quad (5.2)$$

a) Açık Çevrim Basamak Cevabı

Denklem 5.2’de verilen sistemin açık çevrim basamak cevabını çizdiriniz. Sistem karakteristiklerinin parametre değerlerini Tablo 5.1’e kaydediniz.

Tablo 5.1. Açık çevrim basamak cevabı

Açık Çevrim Basamak Cevabı			
Yükselme Zamanı (s)	Maksimum Aşma (%)	Yerleşme Zamanı (s)	Sürekli Durum Hatası

b) Oransal Denetleyici

Sisteme bir oransal denetleyici ekleyiniz. Sırasıyla $K_p=10$ ve $K_p=500$ için P denetleyicili sistemin birim basamak cevabını çizdiriniz. Sistem karakteristiklerinin parametre değerlerini Tablo 5.2’ye kaydediniz.

Tablo 5.2. P denetleyiciyle birim basamak cevabı

P Denetleyiciyle Birim Basamak Cevabı				
	Yükselme Zamanı (s)	Maksimum Aşma (%)	Yerleşme Zamanı (s)	Sürekli Durum Hatası
$K_p=10$				
$K_p=500$				

Soru: Oransal (P) denetleyicinin kazancı arttığında sistem karakteristiklerinin parametrelerinden hangilerinin sonuçları daha iyi, daha kötü olmuştur veya değişmemiştir?

c) Oransal-Türevsel (PD) Denetleyici

Sisteme bir PD denetleyici ekleyiniz. Sırasıyla ($K_p=500$, $K_d=10$) ve ($K_p=500$, $K_d=100$) değerleri için PD denetleyicili sistemin birim basamak cevabını çizdiriniz. Sistem karakteristiklerinin parametre değerlerini Tablo 5.3’e kaydediniz.

Tablo 5.3. PD denetleyiciyle birim basamak cevabı

PD Denetleyiciyle Birim Basamak Cevabı				
Kp=500	Yükselme Zamanı (s)	Maksimum Aşma (%)	Yerleşme Zamanı (s)	Sürekli Durum Hatası
Kd=10				
Kd=100				

Soru: Oransal-türevsel (PD) denetleyicinin türevsel kazancı arttığında sistem karakteristiklerinin parametrelerinden hangilerinin sonuçları daha iyi, daha kötü olmuştur veya değişmemiştir?

d) Oransal-İntegral (PI) Denetleyici

Sisteme bir PI denetleyici ekleyiniz. Sırasıyla ($K_p=500$, $K_i=1$) ve ($K_p=500$, $K_i=10$) değerleri için PI denetleyicili sistemin birim basamak cevabını çizdiriniz. Sistem karakteristiklerinin parametre değerlerini Tablo 5.4'e kaydediniz.

Tablo 5.4. PI denetleyiciyle birim basamak cevabı

PI Denetleyiciyle Birim Basamak Cevabı				
Kp=500	Yükselme Zamanı (s)	Maksimum Aşma (%)	Yerleşme Zamanı (s)	Sürekli Durum Hatası
Ki=1				
Ki=10				

Soru: Oransal-integral (PI) denetleyicinin integral kazancı arttığında sistem karakteristiklerinin parametrelerinden hangilerinin sonuçları daha iyi, daha kötü olmuştur veya değişmemiştir?

e) Oransal-İntegral-Türevsel (PID) Denetleyici

Yukarıdaki deneylerden de görülebileceği üzere P, PI ve PD denetleyiciler arzu edilen cevaba ulaşmak için yetersiz kalabilmektedirler. Sisteme bir PID denetleyici ekleyiniz. Denetleyiciyle küçük bir sürekli durum hatası dışında oldukça iyi bir cevap alındığı hatırlanmalıdır. PID denetleyicili sistemin birim basamak cevabını sırasıyla ($K_p=500$,

$K_d=100$, $K_i=1$) , ($K_p=500$, $K_d=100$, $K_i=100$) ve ($K_p=500$, $K_d=100$, $K_i=500$) için çiziniz. Daha sonra sistem karakteristiklerine ait parametre değerlerini Tablo 5.5'e yazınız.

Tablo 5.5. PID denetleyiciyle birim basamak cevabı

PID Denetleyiciyle Birim Basamak Cevabı				
$K_p=500$ $K_d=100$	Yükselme Zamanı (s)	Maksimum Aşma (%)	Yerleşme Zamanı (s)	Sürekli Durum Hatası
$K_i=1$				
$K_i=100$				
$K_i=500$				

Açık çevrim cevabını ve son çizilen birim basamak aynı şekil üzerinde çizdiriniz.

Soru: PID denetleyici ile sistem cevabı açık çevrim cevabına göre daha mı iyidir?

Bu deney sırasındaki deneyimlerinize göre Tablo 5.6'yı uygun kelimelerle (**Azaltır**, **Artırır**, **Değişmez**, **Ortadan Kaldırır**) doldurunuz.

Tablo 5.6. PID denetleyicinin kazançlarının sistem cevabına etkisi

Denetleyici Kazançlarının Artışı	Yükselme Zamanı	Maksimum Aşma	Yerleşme Zamanı	Sürekli Durum Hatası
K_p				
K_i				
K_d				